

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001 年 1 月 25 日 (25.01.2001)

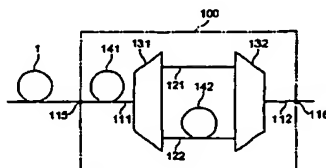
PCT

(10) 国際公開番号
WO 01/06682 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H04B 10/18, H04J 14/02, G02B 6/00
〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/04847
- (22) 国際出願日: 2000 年 7 月 19 日 (19.07.2000)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願平11/205006 1999 年 7 月 19 日 (19.07.1999) JP
特願平11/343479 1999 年 12 月 2 日 (02.12.1999) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 築谷正夫 (TSUKITANI, Masao). 笹岡英資 (SASAKA, Eisuke). 奥野俊明 (OKUNO, Toshiaki);
- (74) 代理人: 弁理士 長谷川芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AU, CA, CN, ID, IN, JP, KR.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: DISPERSION COMPENSATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 分散補償システム



dispersion compensation device is insufficient. It is thus possible to sufficiently compensate for the dispersion of an optical transmission path in a wide signal band.

(57) Abstract: A demultiplexer in a dispersion compensation system of the invention separates an optical signal in a 1520-1620 nm band propagating through a first common transmission path into two bands, i.e., C band (1520-1565 nm) and L band (1565-1620 nm). The demultiplexer then sends the optical signal in the C band and the optical signal in the L band to a first branch path and a second branch path, respectively. A first dispersion compensation device is provided in the first common transmission path to compensate for dispersion in the C and L bands. A second dispersion compensation device is provided in the second branch path to compensate for dispersion in the L band if the dispersion compensation by the first

[続葉有]



(57) 要約:

本発明の分散補償システムでは、分波器は、第1の共通伝送路を伝搬する信号波長帯域1520nm～1620nmの光信号を、Cバンド(1520nm～1565nm)とLバンド(1565nm～1620nm)とに分波する。そして、分波器はCバンドの光信号を第1の分岐伝送路に出力すると共にLバンドの光信号を第2の分岐伝送路に出力する。第1の分散補償デバイスは第1の共通伝送路上に設けられており、CバンドおよびLバンドにおける分散を補償する。第2の分散補償デバイスは第2の分岐伝送路上に設けられており、第1の分散補償デバイスによる分散補償が充分でなかったLバンドにおける分散を補償する。よって、広い信号波長帯域における光伝送路の分散を十分に低減することが可能となる。

明細書

分散補償システム

技術分野

本発明は、広い信号波長帯域における分散を補償する分散補償システムに関する。

背景技術

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 方式を採用した光伝送システムは、波長 1.55 μm 帯の多波長の光信号を光ファイバ伝送路網を介して伝送するものであり、大容量かつ高速の通信を行うことができる。この光伝送システムは、光信号の伝送媒体である光ファイバ伝送路の他、多波長光信号を一括して増幅する光増幅器等を備えている。このような WDM 通信において更に大容量・高速の通信を可能とすべく種々の研究開発が行われている。

光伝送路に関しては分散および分散スロープの低減が重要な研究課題となっている。すなわち、光信号の波長帯域で光伝送路が分散を有していると、各光信号が単色であるとはいっても或る帯域幅を有することから、送信局から送出された光信号が光伝送路を経て受信局に到達するときには、光信号の波形が崩れて受信劣化が生じる。それ故、信号波長帯域において、光伝送路の分散は可能な限り小さいことが望ましい。また、大容量通信の為には、可能な限り広い信号波長帯域で光伝送路の分散が小さいことが望まれるから、光伝送路の分散スロープも可能な限り小さいことが望ましい。

そこで、光伝送路に通常用いられているシングルモード光ファイバに分散補償光ファイバを接続することにより、光伝送路全体の分散の低減が図られている。すなわち、シングルモード光ファイバは、波長 1.55 μm 帯において正の分散を有しているのに対して、分散補償光ファイバは、この波長帯域において負の分散を有することから、シングルモード光ファイバと分散補償光ファイバとが適切

な長さ比で接続された光伝送路は、全体として分散が低減される。

また、波長 $1.58\mu\text{m}$ 帯の光信号を増幅することができる光ファイバ増幅器も開発されたことから、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯（Cバンド、 $1520\text{nm}\sim 1565\text{nm}$ ）の光信号だけでなく、波長 $1.58\mu\text{m}$ 帯（Lバンド、 $1565\text{nm}\sim 1620\text{nm}$ ）の光信号も用いることにより、更に大容量の光通信を行うことが考えられている。

発明の開示

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。
すなわち、CバンドおよびLバンドの双方を含む信号波長帯域において、シングルモード光ファイバに分散補償光ファイバを接続することにより光伝送路の分散を低減することは或る程度までは可能である。しかしながら、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において分散を十分に低減することは困難である。

一方、伝送容量を拡大するためには信号波長帯域を拡大することが有効であり、そのためには、例えば信号波長帯域としてCバンドおよびLバンドの他に、Sバンド（ $1490\text{nm}\sim 1520\text{nm}$ ）およびS+バンド（ $1450\text{nm}\sim 1490\text{nm}$ ）を加えたより広い信号波長帯域において分散を十分に低減することが必要である。

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、広い信号波長帯域において分散を十分に低減することが可能な分散補償システムを提供することを目的とする。

本発明に係る分散補償システムは、信号波長帯域 $1520\text{nm}\sim 1620\text{nm}$ 用の分散補償システムであって、（１）信号波長帯域の光が伝搬する第１の共通伝送路と、（２）第１の共通伝送路から分岐される第１および第２の分岐伝送路と、（３）第１の共通伝送路と第１および第２の分岐伝送路との間に設けられており、

第1の共通伝送路を伝搬する信号波長帯域の光を第1および第2の波長帯域に分波し、第1の波長帯域の光を第1の分岐伝送路に出力すると共に第2の波長帯域の光を第2の分岐伝送路に出力する分波器と、(4)第1の共通伝送路上に設けられており少なくとも第1の波長帯域における分散を補償する第1の分散補償デバイスと、(5)第2の分岐伝送路上に設けられており第2の波長帯域における分散を補償する第2の分散補償デバイスと、を備える。

この分散補償システムによれば、信号波長帯域1520nm～1620nmのうち少なくとも第1の波長帯域は、第1の共通伝送路上に設けられた第1の分散補償デバイスにより分散が補償される。そして、第1の波長帯域の光は分波器により分波されて第1の分岐伝送路へ伝送される。一方、第2の波長帯域の光は分波器により分波されて第2の分岐伝送路へ伝送される。よって、第2の波長帯域は第1の分散補償デバイスによる分散の補償が不充分であっても、第2の分岐伝送路上に設けられた第2の分散補償デバイスにより分散が更に補償される。

当該分散補償システムでは、第1の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第1の波長帯域における分散を補償し、第1および第2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第2の波長帯域における分散を補償する。このようにすれば、第1の波長帯域および第2の波長帯域の双方で分散が十分に補償される。

当該分散補償システムは、第1の分岐伝送路上に設けられる第3の分散補償デバイスを更に備え、第1の波長帯域における分散を第1および第3の分散補償デバイスにより補償する。このようにすれば、第1の波長帯域は第1の分散補償デバイスによる分散補償が未だ不充分であったとしても、分波器により分波された後に第1の分岐伝送路上に設けられた第3の分散補償デバイスにより分散が更に補償されるので、より十分に分散が補償される。

当該分散補償システムでは、第1および第3の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第1の波長帯域における分散を補償し、第1および第2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第2の波長帯域における分散を補償する。このようにすれば、第1および第3の分散補償デバイスにより第1の波長帯域における分散が十分に補償される。

当該分散補償システムでは、第1の分散補償デバイスの波長 $1.55 \mu\text{m}$ での分散スロープ補償率は $60 \sim 150\%$ 、より望ましくは $85 \sim 130\%$ であると好ましい。

本発明に係る分散補償システムは、信号波長帯域 $1520 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ 用の分散補償システムであって、(1)信号波長帯域の光が伝搬する第1の共通伝送路と、(2)第1の共通伝送路から分岐される第1および第2の分岐伝送路と、(3)第1の共通伝送路と第1および第2の分岐伝送路との間に設けられており、第1の共通伝送路を伝搬する信号波長帯域の光を第1および第2の波長帯域に分波し、第1の波長帯域の光を第1の分岐伝送路に出力すると共に第2の波長帯域の光を第2の分岐伝送路に出力する分波器と、(4)第1の分岐伝送路上に設けられており第1の波長帯域における分散を補償する第1の分散補償デバイスと、(5)第2の分岐伝送路上に設けられており第2の波長帯域における分散を補償する第2の分散補償デバイスと、を備える。

この分散補償システムによれば、信号波長帯域 $1520 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ の第1および第2の波長帯域は分波器により分波されて、第1の波長帯域の光は第1の分岐伝送路へ出力され、第2の波長帯域の光は第2の分岐伝送路へ出力される。そして、第1の波長帯域は第1の分岐伝送路上に設けられた第1の分散補償デバイスにより分散が補償され、第2の波長帯域は第2の分岐伝送路上に設けられた第2の分散補償デバイスにより分散が補償される。

当該分散補償システムでは、第1の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第1の波長帯域における分散を補償し、第2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように第2の波長帯域における分散を補償する。このようにすれば、第1の波長帯域および第2の波長帯域の双方で分散が十分に補償される。

当該分散補償システムは、第1の分岐伝送路を伝搬する第1の波長帯域の光と、第2の分岐伝送路を伝搬する第2の波長帯域の光とを合波する合波器を更に備える。このようにすれば、第1および第2の波長帯域の光は合波器により合波される。これは、中継局において用いるのに好適である。なお、受信局においては、このような合波器を設ける必要はない。

当該分散補償システムは、第1の分岐伝送路上に設けられており第1の波長帯域の光を増幅する第1の光増幅器と、第2の分岐伝送路上に設けられており第2の波長帯域の光を増幅する第2の光増幅器と、を更に備える。このようにすれば、第1の波長帯域の光は第1の分岐伝送路上に設けられた第1の光増幅器により増幅され、第2の波長帯域の光は第2の分岐伝送路上に設けられた第2の光増幅器により増幅される。このとき、上記第1および第2の光増幅器はラマン増幅器を含んでいてもよい。このようにすれば、第1の波長帯域の光は第1の光増幅器によりラマン増幅され、第2の波長帯域の光は第2の光増幅器によりラマン増幅される。

なお、上記第1～第3の分散補償デバイスは、それぞれ光ファイバの形態を有するものであるのが好適であり、分散補償光ファイバの他、分散シフト光ファイバと呼ばれるものを好適に用いることができる。これらの分散補償デバイスとしての光ファイバは、光伝送路として敷設されたものであってもよいし、コイル状に巻かれてモジュールとされたものであってもよい。

また、第1および第2の波長帯域は、例えば、一方がCバンド（ 1520 nm

～1565 nm) であり、他方がLバンド (1565 nm～1620 nm) の場合が考えられるが、これに限定されるものではなく、例えば、一方が1490 nm～1520 nmであり、他方が1520 nm～1565 nmの場合なども考えられる。

- 5 本発明に係る分散補償システムは、(1) 入力端と出力端との間の主伝送路上に順に設けられたN個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ ($N \geq 2$) と、(2) N個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの分散補償デバイス DC_{n-1} と分散補償デバイス DC_n との間に設けられ、分散補償デバイス DC_{n-1} から出力された光信号を分波して、その分波した一方の波長帯域の光信号を分散補償デバイス DC_n へ出力し、他方の波長帯域の光信号を分岐伝送路 P_n へ出力する分波器 DIV_n ($2 \leq n \leq N$) とを備えている。そして、分波器 DIV_n により分波されて分岐伝送路 P_n へ出力する波長帯域の分散を、N個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_{n-1}$ により補償する ($2 \leq n \leq N$)。

- 15 この分散補償システムによれば、入力端に入力した信号光のうち分波器 DIV_n により分波されて分岐伝送路 P_n へ出力される波長帯域の光信号は、この分波器 DIV_n に到るまでに経た分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_{n-1}$ により分散補償される ($2 \leq n \leq N$)。その分散補償量は光信号の波長に応じたものとなる。

- 20 当該分散補償システムは、N個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの初段の分散補償デバイス DC_1 の前段に設けられ、入力端に入力した光信号を分波して、その分波した一方の波長帯域の光信号を分散補償デバイス DC_1 へ出力し、他方の波長帯域の光信号を分岐伝送路 P_1 へ出力する分波器 DIV_1 を更に備える。このようにすれば、入力端に入力した光信号のうち分波器 DIV_1 により分波されて分岐伝送路 P_1 へ出力される波長帯域の光信号は、何れの分散補償デバイスによっても分散補償されることがない。

- 25 当該分散補償システムは、N個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの最終段の分散補償デバイス DC_N から出力された光信号と、分波器 DIV_n から分岐伝

送路 P_n へ出力された光信号 ($2 \leq n \leq N$) とを入力し、(更に、分波器 DIV_1 から分岐伝送路 P_1 へ出力された光信号をも入力し)、これらの光信号を合波して出力する合波部を更に備える。このようにすれば、各波の光信号は、必要な分散補償量だけ補償された後に、合波部により合波されて出力される。これは、中継局において用いるのに好適である。

5 なお、上記した分散補償システムにおいて、 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ それぞれは、光ファイバの形態を有するものであるのが好適であり、分散補償光ファイバの他、通常は分散シフト光ファイバと呼ばれているものも分散補償のために用いられ得る。これらの分散補償デバイスとしての光ファイバは、光伝送路として敷設されたものであってもよいし、コイル状に巻かれてモジュールとされたものであってもよい。分散補償デバイスが光ファイバである場合には、挿入損失が小さく、各々の分散補償量の設定の自由度が優れ、各々が分散補償する波長帯域を広くとることができる。 N 個の分波器 $DIV_1 \sim DIV_N$ それぞれとしてWDMカブラが用いられるのが好適であり、この場合には、安価かつ簡便に所望波長帯域を分波することができる。

10 本発明に係る分散補償システムは、共通伝送路を介して入力した光信号を複数の波長帯域に分波し、分波されたそれぞれの波長帯域における分散を波長帯域ごとに補償する複数の分散補償デバイスを有する。この場合、分波されたそれぞれの波長帯域は少なくとも 20 nm の波長帯域を持つと好ましい。また分波する波長帯域の数は2以上5以下であると好ましい。

20 この分散補償システムによれば、共通伝送路を介して入力した光信号は複数の波長帯域に分波され、分波されたそれぞれの波長帯域における分散が複数の分散補償デバイスによって波長帯域ごとに個別に補償される。

25 当該分散補償システムは、分波する波長帯域がS+バンド、Sバンド、CバンドおよびLバンドであると好ましい。このようにすれば、光増幅器はそれぞれ光増幅する好適な波長帯域を有しているため、光信号を上記の波長帯域に分波する

ことで光信号を効率良く増幅することが可能となる。

当該分散補償システムは、信号波長帯域 $1520\text{ nm} \sim 1620\text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5\text{ ps/nm/km}$ 以下であると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドにおける 10 Gbit/s の光信号を用いて 2000 km の距離での伝送が可能となる。信号波長帯域が $1490\text{ nm} \sim 1620\text{ nm}$ であれば、CバンドおよびLバンドに加えてSバンドまで信号波長帯域が拡大される。信号波長帯域が $1450\text{ nm} \sim 1620\text{ nm}$ であれば、Cバンド、LバンドおよびSバンドに加えてS+バンドまで信号波長帯域が拡大される。

また、分散偏差が $\pm 0.2\text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。分散偏差が $\pm 0.1\text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送が可能となる。分散偏差が $\pm 0.05\text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 20 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。分散偏差が $\pm 0.025\text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 20 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送が可能となる。

当該分散補償システムは、分波した各波長帯域における分散を補償する分散補償デバイスはモジュールの形態を有すると好ましい。このようにすれば、設置スペースの減少、設備コストの低減が図られる。

本発明は以下の詳細な説明および添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これらは単に例示のために示されるものであって、本発明を限定するものと考えべきではない。

図面の簡単な説明

図1は、第1の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図2は、第2の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図3は、第3の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図4は、第4の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図5Aは、分散補償光ファイバの構造を模式的に示す図である。

図5Bは、分散補償光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

図6Aは、第1の実施例に係る分散補償システムに接続されるシングルモード
5 光ファイバの分散特性の具体例を示すグラフである。

図6Bは、第1の実施例に係る分散補償システムにおいて、第1の分散補償デ
バイスの分散特性の具体例を示すグラフである。

図6Cは、図6Aに示す分散特性を有するシングルモード光ファイバと、図6
Bに示す分散特性を有する第1の分散補償デバイスとを所定比率で接続した場合
10 の分散特性の具体例を示すグラフである。

図6Dは、図6Aに示す分散特性を有するシングルモード光ファイバに第1の
実施例に係る分散補償システム（第1の分散補償デバイスの波長 $1.55\mu\text{m}$ に
おける分散スロープ補償率 $\eta = 100\%$ ）を接続した場合における全体の分散特
性の具体例を示すグラフである。

図7Aは、分散シフト光ファイバの構造を模式的に示す図である。

図7Bは、分散シフト光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

図8Aは、第1の実施例に係る分散補償システムに接続されるシングルモード
光ファイバの分散特性の具体例を示すグラフである。

図8Bは、第1の実施例に係る分散補償システムにおいて、第1の分散補償デ
20 バイスの分散特性の具体例を示すグラフである。

図8Cは、図8Aに示す分散特性を有するシングルモード光ファイバと、図8
Bに示す分散特性を有する第1の分散補償デバイスとを所定比率で接続した場合
の分散特性の具体例を示すグラフである。

図8Dは、図8Aに示す分散特性を有するシングルモード光ファイバに第1の
25 実施例に係る分散補償システム（第1の分散補償デバイスの波長 $1.55\mu\text{m}$ に
おける分散スロープ補償率 $\eta = 70\%$ ）を接続した場合における全体の分散特性

の具体例を示すグラフである。

図 9 A は、第 2 の実施例に係る分散補償システムに接続されるシングルモード光ファイバの分散特性の具体例を示すグラフである。

5 図 9 B は、第 2 の実施例に係る分散補償システムにおいて、第 1 の分散補償デバイスの分散特性の具体例を示すグラフである。

図 9 C は、図 9 A に示す分散特性を有するシングルモード光ファイバと、図 9 B に示す分散特性を有する第 1 の分散補償デバイスとを所定比率で接続した場合の分散特性の具体例を示すグラフである。

10 図 9 D は、図 9 A に示す分散特性を有するシングルモード光ファイバに第 2 の実施例に係る分散補償システム（第 1 の分散補償デバイスの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ補償率 $\eta = 135\%$ ）を接続した場合における全体の分散特性の具体例を示すグラフである。

図 10 A は、第 3 の実施例に係る分散補償システムに接続されるシングルモード光ファイバの分散特性の具体例を示すグラフである。

15 図 10 B は、第 3 の実施例に係る分散補償システムにおいて、第 1 の分散補償デバイスの分散特性の具体例を示すグラフである。

図 10 C は、第 3 の実施例に係る分散補償システムにおいて、第 2 の分散補償デバイスの分散特性の具体例を示すグラフである。

20 図 10 D は、図 10 A に示す分散特性を有するシングルモード光ファイバに第 3 の実施例に係る分散補償システム（第 1 の分散補償デバイスの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ補償率 $\eta = 100\%$ ）を接続した場合における全体の分散特性の具体例を示すグラフである。

25 図 11 は、第 1 の共通伝送路に設けられた第 1 の分散補償デバイスの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ補償率と当該分散補償システムにおける分散偏差との関係を示すグラフである。

図 12 は、第 5 の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図 1 3 A は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力される光信号の累積分散量の具体例を示すグラフである。

図 1 3 B は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の A 点（図 1 2 参照）における累積分散量の具体例を示すグラフである。

5 図 1 3 C は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の B 点（図 1 2 参照）における累積分散量の具体例を示すグラフである。

図 1 3 D は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の C 点（図 1 2 参照）における累積分散量の具体例を示すグラフである。

10 図 1 4 A は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力される光信号の累積分散量の具体例を示すグラフである。

図 1 4 B は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の A 点（図 1 2 参照）における累積分散量の他の具体例を示すグラフである。

図 1 4 C は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の B 点（図 1 2 参照）における累積分散量の他の具体例を示すグラフである。

15 図 1 4 D は、第 5 の実施例に係る分散補償システムに入力された光信号の C 点（図 1 2 参照）における累積分散量の他の具体例を示すグラフである。

図 1 5 は、第 6 の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図 1 6 は、第 7 の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

図 1 7 は、第 8 の実施例に係る分散補償システムの概略構成図である。

20 図 1 8 A は、分散補償光ファイバの構造を模式的に示す図である。

図 1 8 B は、分散補償光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

図 1 9 は、第 8 の実施例に係る分散補償システム全体の分散特性の具体例を示すグラフである。

25 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して本発明の分散補償システムの好適な実施例について

詳細に説明する。なお、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

まず、本発明の分散補償システムの第1の実施例について説明する。図1は、第1の実施例に係る分散補償システム100の概略構成図である。分散補償システム100は、第1および第2の共通伝送路111、112、第1および第2の分岐伝送路121、122、分波器131、合波器132、ならびに第1および第2の分散補償デバイス141、142を備えている。この分散補償システム100は、第1の共通伝送路111の一端に相当する入力端115を介して外部のシングルモード光ファイバ1と接続されている。よって、シングルモード光ファイバ1を伝搬する光信号は、入力端115から分散補償システム100に入力される。

分波器131は、第1の共通伝送路111と第1および第2の分岐伝送路121、122との間に設けられている。この分波器131は、第1の共通伝送路111を伝搬する信号波長帯域1520nm～1620nmの光信号を、Cバンド（1520nm～1565nm）とLバンド（1565nm～1620nm）とに分波する。そして、分波器131はCバンドの光信号を第1の分岐伝送路121に出力すると共にLバンドの光信号を第2の分岐伝送路122に出力する。

合波器132は、第2の共通伝送路112と第1および第2の分岐伝送路121、122との間に設けられている。この合波器132は、第1の分岐伝送路121を伝搬するCバンドの光信号と第2の分岐伝送路122を伝搬するLバンドの光信号とを合波し、合波した光信号を第2の共通伝送路112に出力する。なお、合波器132から出力されて第2の共通伝送路112を伝搬する光信号は、第2の共通伝送路112の一端に相当する出力端116を介して外部に出力される。

ここで、第1の共通伝送路111上には第1の分散補償デバイス141が設けられている。第1の分散補償デバイス141は、CバンドおよびLバンドにおけ

る分散を補償する。しかし、第1の分散補償デバイス141はLバンドにおける分散の補償を充分には行うことができない。一方、第2の分岐伝送路122上には第2の分散補償デバイス142が設けられている。したがって、第1の分散補償デバイス141による分散補償が充分でなかったLバンドにおける分散は、第2の分散補償デバイス142によって充分に補償される。

ここで、第1の実施例に係る分散補償システム100では、第1の分散補償デバイス141は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにCバンドにおける分散を補償し、第1および第2の分散補償デバイス141, 142は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにLバンドにおける分散を補償すると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において分散を充分に低減することができる。よって、例えば $10 \sim 20 \text{ Gbit/s}$ などの大容量の光通信を行うことが可能となる。

また、第1の実施例に係る分散補償システム100では、第1の共通伝送路に設けられた第1の分散補償デバイスの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープ補償率が $60 \sim 150\%$ 、より望ましくは $85 \sim 130\%$ であると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドにおいて分散のバラツキが抑制される。なお、この分散スロープ補償率については後で詳細に説明する。

以上、第1の実施例にかかる分散補償システム100では、信号波長帯域 $1520 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ のうち、Cバンドについては第1の分散補償デバイス141により分散が補償され、Lバンドについては第1および第2の分散補償デバイス141, 142の双方により分散が補償される。その結果、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において光伝送路の分散を充分に低減することができる。

次に、本発明の分散補償システムの第2の実施例について説明する。図2は、

第2の実施例に係る分散補償システム200の概略構成図である。分散補償システム200は、第1の実施例に係る分散補償システム100の構成に加えて、第1の分岐伝送路121上に第3の分散補償デバイス143を更に備えている。

この分散補償システム200では、第1の実施例に係る分散補償システム100と同様に、第1の共通伝送路111上に第1の分散補償デバイス141が設けられており、第1の分散補償デバイス141によってCバンドおよびLバンドにおける分散が補償される。しかし、第1の分散補償デバイス141はLバンドにおける分散の補償を充分には行うことができない。よって、第2の分岐伝送路122上に設けられた第2の分散補償デバイス142により、第1の分散補償デバイス141による分散補償が充分でなかったLバンドにおける分散が補償される。

また、第1の分散補償デバイス141はLバンドにおける分散の補償のみならずCバンドにおける分散の補償も未だ充分とは言えない場合がある。このとき、第2の実施例にかかる分散補償システム200では、第1の分岐伝送路121上に第3の分散補償デバイス143が設けられているため、第3の分散補償デバイス143によって第1の分散補償デバイス141による分散補償が未だ充分でなかったCバンドにおける分散が補償される。

ここで、第2の実施例に係る分散補償システム200では、第1および第3の分散補償デバイス141、143は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにCバンドにおける分散を補償し、第1および第2の分散補償デバイス141、142は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにLバンドにおける分散を補償すると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において分散を充分に低減することができる。よって、例えば $10 \sim 20 \text{ Gbit/s}$ などの大容量の光通信を行うことが可能となる。

また、第2の実施例に係る分散補償システム200では、第1の共通伝送路に

設けられた第1の分散補償デバイスの波長1.55 μm における分散スロープ補償率が60～150%、より望ましくは85～130%であると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドにおいて分散のバラツキが抑制される。なお、この分散スロープ補償率については後で詳細に説明する。

5 以上、第2の実施例に係る分散補償システム200では、信号波長帯域1520 nm～1620 nmのうち、Cバンドについては第1および第3の分散補償デバイス141、143の双方により分散が補償され、Lバンドについては第1および第2の分散補償デバイス141、142の双方により分散が補償される。その結果、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において光伝送路の分散を十分に低減することができる。

10 次に、本発明の分散補償システムの第3の実施例について説明する。図3は、第3の実施例に係る分散補償システム300の概略構成図である。分散補償システム300は、第1および第2の共通伝送路311および312、第1および第2の分岐伝送路321および322、分波器331、合波器332、ならびに第1および第2の分散補償デバイス341、342を備えている。この分散補償システム300は、第1の共通伝送路311の一端に相当する入力端315を介して外部のシングルモード光ファイバ1と接続されている。よって、シングルモード光ファイバ1を伝搬する光信号は、入力端315から分散補償システム300に入力される。

20 分波器331は、第1の共通伝送路311と第1および第2の分岐伝送路321、322との間に設けられている。この分波器331は、第1の共通伝送路311を伝搬する信号波長帯域1520 nm～1620 nmの光信号をCバンド(1520 nm～1565 nm)とLバンド(1565 nm～1620 nm)とに分波する。そして、分波器331はCバンドの光信号を第1の分岐伝送路321に出力すると共にLバンドの光信号を第2の分岐伝送路322に出力する。

25 合波器332は、第2の共通伝送路312と第1および第2の分岐伝送路32

1, 3 2 2との間に設けられている。この合波器 3 3 2は、第 1の分岐伝送路 3 2 1を伝搬するCバンドの光信号と第 2の分岐伝送路 3 2 2を伝搬するLバンドの光信号とを合波し、合波した光信号を第 2の共通伝送路 3 1 2に出力する。なお、合波器 3 3 2から出力されて第 2の共通伝送路 3 1 2を伝搬する光信号は、
5 第 2の共通伝送路 3 1 2の一端に相当する出力端 3 1 6を介して外部に出力される。

この分散補償システム 3 0 0では、第 1の分岐伝送路 3 2 1上に第 1の分散補償デバイス 3 4 1が設けられている。この第 1の分散補償デバイス 3 4 1は、Cバンドにおける分散を補償する。一方、第 2の分岐伝送路 3 2 2上には第 2の分散補償デバイス 3 4 2が設けられている。この第 2の分散補償デバイス 3 4 2は、
10 Lバンドにおける分散を補償する。

ここで、第 3の実施例に係る分散補償システム 3 0 0では、第 1の分散補償デバイス 3 4 1は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにCバンドにおける分散を補償し、第 2の分散補償デバイス 3 4 2は、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より望ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるようにLバンドにおける分散を補償すると好ましい。このようにすれば、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において分散を十分に低減することができる。よって、例えば
15 $10 \sim 20 \text{ Gbit/s}$ などの大容量の光通信を行うことが可能となる。

以上、第 3の実施例にかかる分散補償システム 3 0 0では、信号波長帯域 1 5 2 0 nm \sim 1 6 2 0 nmのうち、Cバンドについては第 1の分散補償デバイス 3 4 1により分散が補償され、Lバンドについては第 2の分散補償デバイス 3 4 2により分散が補償される。その結果、CバンドおよびLバンドの双方を含む広い信号波長帯域において光伝送路の分散を十分に低減することができる。

次に、本発明の分散補償システムの第 4の実施例について説明する。図 4は、
25 第 4の実施例に係る分散補償システム 4 0 0の概略構成図である。分散補償シス

テム 400 は、第 2 の実施例に係る分散補償システム 200 の構成に加えて光増幅器 151～154 を更に備えている。

光増幅器 151, 153 は第 1 の分岐伝送路 121 上に設けられており、C バンドの光信号を増幅する。一方、光増幅器 152, 154 は第 2 の分岐伝送路 122 上に設けられており、L バンドの光信号を増幅する。なお、光増幅器は第 1 および第 2 の分岐伝送路 121, 122 のそれぞれの入力端側と出力端側の少なくとも一方に設けられていれば足りる。また光増幅器としては、例えば” Crosstalk Bandwidth in Backward Pumped Fiber Raman Amplifiers” (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, NOVEMBER 1999, VOL.11, NO.11, pp.1417-1419, Jun. Shan Wey et al.) に開示されているようなラマン増幅器を用いることができる。

このように第 4 の実施例にかかる分散補償システム 400 では、信号波長帯域 1520 nm～1620 nm のうち、C バンドについては第 1 および第 3 の分散補償デバイス 141, 143 の双方により分散が補償されるとともに、光増幅器 151, 153 により光信号が増幅される。一方、L バンドについては第 1 および第 2 の分散補償デバイス 141, 142 の双方により分散が補償されるとともに光増幅器 152, 154 により光信号が増幅される。その結果、C バンドおよび L バンドの双方を含む広い信号波長帯域において光伝送路の分散を十分に低減することができ、また、光信号を増幅することができる。この第 4 の実施例に係る分散補償システム 400 は、中継局に用いるのに好適である。

次に、上記した第 1～第 3 の実施例にかかる分散補償システム 100～300 を具体例を用いて更に詳細に説明すると共に、第 1 の分散補償デバイスの波長 1.55 μm における分散スロープ補償率の好適範囲について説明する。

ここで、分散スロープ補償率を定義しておく。分散スロープ補償率 η は、

$$\eta = 100 \times (S_{DCF} / D_{DCF}) / (S_{SMF} / D_{SMF})$$

なる式で定義される。D_{SMF} はシングルモード光ファイバ 1 の所定波長における分散値であり、S_{SMF} はシングルモード光ファイバ 1 の所定波長における分散ス

ロープである。 D_{DCF} は分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）の所定波長における分散値であり、 S_{DCF} は分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）の所定波長における分散スロープである。この分散スロープ補償率 η は、所定波長において分散が100%補償されたときの、当該所定波長における分散スロープの補償の程度を表す。

まず、第1の実施例にかかる分散補償システム100の具体例を示す。

シングルモード光ファイバ1は、コアが純シリカでありクラッドがF元素添加シリカであって、波長1.3 μm 付近に零分散波長を有するものを用いる。このシングルモード光ファイバ1は、波長1.55 μm において、分散が18.8 ps/nm/kmであり、分散スロープが0.057 ps/nm²/kmである。図6Aは、シングルモード光ファイバ1の分散特性を示している。図6Aに示されるように、信号波長帯域において、シングルモード光ファイバ1の分散は正であって、分散スロープも正である。

第1の分散補償デバイス141は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。この第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141は、コア31の径2aが3.93 μm であり、第1クラッド32の外径2bが6.78 μm であり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が1.4%であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が-0.6%である。そして、第1の分散補償デバイス141は、波長1.55 μm において、分散が-73.98 ps/nm/kmであり、分散スロープが-0.209 ps/nm²/kmである。図6Bは、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散特性を示している。図6Bに示されるように、信号波長帯域において、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散は負であって絶対値が大きく、また、分散スロープも負である。

図6Cは、このようなシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス

(分散補償光ファイバ) 141とを、長さ比0.8:0.2で接続した場合において、これらの全体の分散特性を示している。図6Cから判るように、Cバンドの分散補償は充分であるが、Lバンドの分散補償は不十分である。そこで、分波器131によりCバンドとLバンドとに分波して、Lバンドについては第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142により更に分散を補償する。

第2の分散補償デバイス142は、図7A、7Bに示された屈折率プロファイルを有する分散シフト光ファイバを用いる。この第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142は、コア41の径2aが $3.31\mu\text{m}$ であり、第1クラッド42の外径2bが $18.40\mu\text{m}$ であり、第2クラッド43に対するコア41の比屈折率差 Δ_1 が1.10%であり、第2クラッド43に対する第1クラッド42の比屈折率差 Δ_2 が0.14%である。そして、第2の分散補償デバイス142の零分散波長は 1573nm であって、波長 $1.55\mu\text{m}$ において分散スロープが $0.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である。

そして、上記したシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ) 141とが上記の比で接続された光ファイバ1kmに対し、長さが56.8mの割合となるように第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142を接続する。

図6Dは、Lバンドについて第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142により更に分散補償したときの分散特性を破線で示している。図6Dから判るように、Lバンドの分散補償も充分なものとなる。

なお、この具体例において、第1の分散補償デバイス141の波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープ補償率 η は100%であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ において分散スロープが100%補償されている。

次に、第1の実施例にかかる分散補償システム100の他の具体例を示す。

シングルモード光ファイバ1は、コアが純シリカでありクラッドがF元素添加シリカであって、波長 $1.3\mu\text{m}$ 付近に零分散波長を有するものを用いる。シン

5 グルモード光ファイバ1は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が $18.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $0.057\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図8Aは、シングルモード光ファイバ1の分散特性を示している。図8Aに示されるように、信号波長帯域において、シングルモード光ファイバ1の分散は正であって、分散スロープも正である。

10 第1の分散補償デバイス141は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141は、コア31の径 $2a$ が $3.30\mu\text{m}$ であり、第1クラッド32の外径 $2b$ が $8.24\mu\text{m}$ であり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が 1.70% であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が -0.36% である。第1の分散補償デバイス141は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が $-68.17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $-0.144\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図8Bは、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散特性を示している。図8Bに示されるように、信号波長帯域において、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散は負であって絶対値が大きく、また、分散スロープも負である。

15 図8Cは、このようなシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141とを、長さ比 $0.786:0.214$ で接続した場合において、これらの全体の分散特性を示している。図8Cから判るように、Cバンドの分散偏差は比較的大きく、Lバンドの分散補償は不十分であるが、Cバンドの分散補償は困難であるのに対して、Lバンドの分散補償は可能である。そこで、分波器131によりCバンドとLバンドとに分波して、Lバンドについては第2の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）142により更に分散補償する。

20 第2の分散補償デバイス142は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。第2の分散補償デバイス（分散補償光

ファイバ) 142は、コア31の径2aが4.41 μ mであり、第1クラッド32の外径2bが9.80 μ mであり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が1.35%であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が-0.50%である。第2の分散補償デバイス142は、波長1.55 μ mにおいて、分散が-39.9 ps/nm/kmであり、分散スロープが-0.209 ps/nm²/kmである。

そして、上記したシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ)141とが上記の比で接続された光ファイバ1kmに対し、長さが12.6mの割合となるように第2の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ)142を接続する。図8Dは、Lバンドについて第2の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ)142により更に分散補償したときの分散特性を破線で示している。図8Dから判るように、Lバンドの分散補償は十分なものとなる。

なお、この具体例では、第1の分散補償デバイス141の波長1.55 μ mにおける分散スロープ補償率 η は70%であり、波長1.55 μ mにおいて完全に分散スロープを補償しているとは言えない。

次に、第2の実施例にかかる分散補償システム200の具体例を示す。

シングルモード光ファイバ1は、コアが純シリカであってクラッドがF元素添加シリカであって、波長1.3 μ m付近に零分散波長を有するものを用いる。シングルモード光ファイバ1は、波長1.55 μ mにおいて、分散が18.8 ps/nm/kmであり、分散スロープが0.057 ps/nm²/kmである。図9Aは、シングルモード光ファイバ1の分散特性を示している。図9Aに示されるように、信号波長帯域において、シングルモード光ファイバ1の分散は正であって、分散スロープも正である。

第1の分散補償デバイス141は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。第1の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ)141は、コア31の径2aが3.16 μ mであり、第1クラッド3

2の外径 $2b$ が $10.20\mu\text{m}$ であり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が 1.70% であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が -0.36% である。また、第1の分散補償デバイス141は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が $-74.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $-0.316\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図9Bは、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散特性を示している。図9Bに示されるように、信号波長帯域において、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141の分散は負であって絶対値が大きく、また、分散スロープも負である。

図9Cは、このようなシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）141とを、長さ比 $0.798:0.202$ で接続した場合において、これらの全体の分散特性を示している。図9Cから判るように、Lバンドの分散補償は不十分であり、Cバンドの分散補償も完全に行われているとは言えない。そこで、分波器131によりCバンドとLバンドとに分波して、Lバンドについては第2の分散補償デバイス（分散シフト光ファイバ）142により更に分散補償するとともに、Cバンドについては第3の分散補償デバイス（分散シフト光ファイバ）143により更に分散補償する。

第2の分散補償デバイス142および第3の分散補償デバイス143それぞれは、図7A、7Bに示された屈折率プロファイルを有する分散シフト光ファイバを用いる。この第2の分散補償デバイス（分散シフト光ファイバ）142は、コア41の径 $2a$ が $3.28\mu\text{m}$ であり、第1クラッド42の外径 $2b$ が $18.2\mu\text{m}$ であり、第2クラッド43に対するコア41の比屈折率差 Δ_1 が 1.10% であり、第2クラッド43に対する第1クラッド42の比屈折率差 Δ_2 が 0.14% である。そして、第2の分散補償デバイス142は、零分散波長が 1568nm であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ において分散スロープが $0.12\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。そして、シングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス（分

散補償光ファイバ) 141との全体の長さ1 kmに対し、長さが660 mの割合となるように第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142を接続する。

第3の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 143は、コア41の径2
5 aが3.17 μm であり、第1クラッド42の外径2bが17.6 μm であり、
第2クラッド43に対するコア41の比屈折率差 Δ_1 が1.1%であり、第2クラッド43に対する第1クラッド42の比屈折率差 Δ_2 が0.14%である。そして、第3の分散補償デバイス143は、零分散波長が1545 nmであり、波長1.55 μm において分散スロープが0.12 ps/nm²/kmである。そして、シングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ) 141との全体の長さ1 kmに対して、長さが54 mの割合となるように第3の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 143を接続する。

図9Dは、Lバンドについて第2の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 142により更に分散補償したときの分散特性を破線で示し、Cバンドについて第3の分散補償デバイス(分散シフト光ファイバ) 143により更に分散補償したときの分散特性を実線で示している。図9Dから判るように、CバンドおよびLバンドの双方とも分散補償が充分なものとなる。

なお、この具体例では、第1の分散補償デバイス141の波長1.55 μm における分散スロープ補償率 η は135%であり、第1および第3の分散補償デバイス(分散補償光ファイバ) 141, 143によって波長1.55 μm において分散スロープの補償が過剰になされている。

次に、第3の実施例にかかる分散補償システム300の具体例を示す。

シングルモード光ファイバ1は、コアが純シリカであってクラッドがF元素添加シリカであって、波長1.3 μm 付近に零分散波長を有するものを用いる。シングルモード光ファイバ1は、波長1.55 μm において、分散が18.8 ps/nm/kmであり、分散スロープが0.057 ps/nm²/kmである。また、

このシングルモード光ファイバ1は、波長 $1.58\mu\text{m}$ において、分散が $20.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $0.057\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図10Aは、シングルモード光ファイバ1の分散特性を示している。図10Aに示されるように、信号波長帯域において、シングルモード光ファイバ1の分散は正であって、分散スロープも正である。

第1の分散補償デバイス341は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）341は、コア31の径 $2a$ が $4.60\mu\text{m}$ であり、第1クラッド32の外径 $2b$ が $7.09\mu\text{m}$ であり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が 1.4% であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が -0.7% である。そして、第1の分散補償デバイス341は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が $-53.20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $-0.162\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図10Bは、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）341の分散特性を示している。図10Bに示されるように、信号波長帯域において、第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）341の分散は負であって絶対値が大きく、また、分散スロープも負である。

また第2の分散補償デバイス342は、図5A、5Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。第2の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）342は、コア31の径 $2a$ が $4.75\mu\text{m}$ であり、第1クラッド32の外径 $2b$ が $7.20\mu\text{m}$ であり、第2クラッド33に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ が 1.4% であり、第2クラッド33に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- が -0.7% である。そして、第2の分散補償デバイス342は、波長 $1.58\mu\text{m}$ において、分散が $-44.44\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、分散スロープが $-0.122\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。図10Cは、第2の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）342の分散特性を示している。図10C

に示されるように、信号波長帯域において、第2の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）342の分散は負であって絶対値が大きく、また、分散スロープも負である。

図10Dは、このようなシングルモード光ファイバ1と第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）341とを長さ比1:0.35で接続した場合において、これらの全体の分散特性を実線で示している。また、この図10Dは、このようなシングルモード光ファイバ1と第2の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）342とを長さ比1:0.46で接続した場合において、これらの全体の分散特性を破線で示している。図10Dから判るように、Cバンドについては第1の分散補償デバイス341により分散が補償され、Lバンドについては第2の分散補償デバイス342により分散が補償されて、CバンドおよびLバンドを含む信号波長帯域において分散補償が充分なものとなっている。

なお、この具体例では、第1の分散補償デバイス341の波長1.55 μ mにおける分散スロープ補償率 η は100%であり、波長1.55 μ mにおいて分散スロープが100%補償されている。

発明者は、以上の具体例を含めて多くの具体例について分散特性を調べた。図11は、第1の共通伝送路111に設けられた第1の分散補償デバイス141の波長1.55 μ mにおける分散スロープ補償率とCバンド（白丸で示す）およびLバンド（白三角で示す）における当該分散補償デバイス100, 200の分散偏差との関係を示すグラフである。図11に示されるように、分散偏差を ± 0.5 ps/nm/km以下にするためには、第1の分散補償デバイス141の分散スロープ補償率を60~150%とする必要があり、さらに分散偏差を ± 0.2 ps/nm/km以下にするためには、分散スロープ補償率を85~130%とする必要がある。なお、分散偏差が ± 0.5 ps/nm/km以下という条件は、後述するように10 Gbit/sの信号を2000 km伝送するために必要なものである。

このように、本発明者らは第1の共通伝送路111に設けられた第1の分散補償デバイス141の波長1.55 μm における分散スロープ補償率 η の好適範囲が60~150%、より望ましくは85~130%であることを見出した。分散スロープ補償率 η がこの範囲にあれば、CバンドおよびLバンドの波長間における分散のバラツキが抑制される。

次に、本発明に係る分散補償システムの第5の実施例について説明する。図12は、第5の実施例に係る分散補償システム500の概略構成図である。分散補償システム500は、入力端500aと出力端500bとの間の主伝送路510上に、分散補償デバイス531、分波器542、分散補償デバイス532、分波器543、分散補償デバイス533および合波器550を順に備える。分散補償デバイス531~533それぞれは、分散補償光ファイバであるのが好適であり、分波器542, 543それぞれは、WDMカプラであるのが好適である。

分波器542は、分散補償デバイス531から出力された光信号（例えば、信号波長帯域1490nm~1620nm）を分波し、その分波した一方の第1の波長帯域（例えば、Sバンド1490nm~1520nm）の光信号を分岐伝送路522へ出力し、残りの波長帯域の光信号を分散補償デバイス532へ出力する。分波器543は、分散補償デバイス532から出力された光信号を分波し、その分波した一方の第2の波長帯域（例えば、Cバンド1520nm~1565nm）の光信号を分岐伝送路523へ出力し、残りの第3の波長帯域（例えば、Lバンド1565nm~1620nm）の光信号を分散補償デバイス533へ出力する。合波部550は、分波器542により分波され分岐伝送路522を伝搬する第1の波長帯域の光信号、分波器543により分波され分岐伝送路523を伝搬する第2の波長帯域の光信号、および、分散補償デバイス533から出力された光信号を合波して出力する。合波部550から出力された光信号は、出力端500bから分散補償システム500の外部へ出力される。

この分散補償システム500では、入力端500aから入力した光信号のうち、

分波器 5 4 2 において分波され分岐伝送路 5 2 2 および合波部 5 5 0 を経て出力端 5 0 0 b へ出力される第 1 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 5 3 1 のみによって分散補償される。分波器 5 4 3 において分波され分岐伝送路 5 2 3 および合波部 5 5 0 を経て出力端 5 0 0 b へ出力される第 2 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 5 3 1, 5 3 2 によって分散補償される。また、分散補償デバイス 5 3 3 から出力され合波部 5 5 0 を経て出力端 5 0 0 b へ出力される第 3 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 5 3 1 ~ 5 3 3 により分散補償される。

次に、本実施例に係る分散補償システム 5 0 0 の 2 つの具体的な動作例について説明する。図 1 3 A ~ 1 3 D は、第 5 の実施例に係る分散補償システム 5 0 0 の分散補償動作の第 1 の具体例を説明する図である。この第 1 の具体例では、分散補償デバイス 5 3 1 は、第 1 ~ 第 3 の波長帯域を含む波長帯域において波長分散が負である。分散補償デバイス 5 3 2 は、第 2 および第 3 の波長帯域を含む波長帯域において波長分散が負である。分散補償デバイス 5 3 3 は、第 3 の波長帯域において波長分散が負である。入力端 5 0 0 a から入力される光信号は、図 1 3 A に示すように第 1 ~ 第 3 の波長帯域 I ~ III を含む波長帯域において、累積分散量が正であり、累積分散量のスロープも正である。

この第 1 の具体例では、初段の分散補償デバイス 5 3 1 から出力され分波器 5 4 2 に入力する光信号（図 1 2 中の A 点における光信号）は、第 1 ~ 第 3 の波長帯域 I ~ III を含む波長帯域において、波長分散が負である分散補償デバイス 5 3 1 により累積分散量が低減される。このとき、図 1 3 B に示すように第 1 の波長帯域 I の光信号は累積分散量が十分に小さいので、分岐伝送路 5 2 2 へ出力される。しかし、第 2 および第 3 の波長帯域 II, III の光信号は累積分散量が依然として大きく、分散補償デバイス 5 3 2 へ入力される。

中段の分散補償デバイス 5 3 2 から出力され分波器 5 4 3 に入力する光信号（図 1 2 中の B 点における光信号）は、第 2 および第 3 の波長帯域 II, III を含む波長帯域において、波長分散が負である分散補償デバイス 5 3 2 により累積分散

量が更に低減される。このとき、図 1 3 C に示すように第 2 の波長帯域 II の光信号は累積分散量が十分に小さいので、分岐伝送路 5 2 3 へ出力される。しかし、第 3 の波長帯域 III の光信号は累積分散量が依然として大きく、分散補償デバイス 5 3 3 へ入力される。

5 最終段の分散補償デバイス 5 3 3 から出力され合波部 5 5 0 に入力する光信号（図 1 2 中の C 点における光信号）は、第 3 の波長帯域 III において、波長分散が負である分散補償デバイス 5 3 3 により累積分散量が更に低減される。この結果、図 1 3 D に示すように第 3 の波長帯域 III の光信号は累積分散量が十分に小さくなる。そして、合波部 5 5 0 より出力端 5 0 0 b へ出力される光信号は、第 10 1 ～第 3 の波長帯域 I～III を含む波長帯域において累積分散量が十分に小さいものとなる。

図 1 4 A～D は、第 5 の実施例に係る分散補償システム 5 0 0 の分散補償動作の第 2 の具体例を説明する図である。この第 2 の具体例では、分散補償デバイス 5 3 1 は、第 1 ～第 3 の波長帯域を含む波長帯域において波長分散および分散スロープが共に負である。分散補償デバイス 5 3 2 は、第 2 および第 3 波長帯域を含む波長帯域において波長分散および分散スロープが共に正である。分散補償デバイス 5 3 3 は、第 3 波長帯域において波長分散および分散スロープが共に正である。入力端 5 0 0 a から入力する光信号は、図 1 4 A に示すように第 1 ～第 3 の波長帯域 I～III を含む波長帯域において、累積分散量が正であり累積分散量の 15 スロープも正である。

この第 2 の具体例では、初段の分散補償デバイス 5 3 1 から出力され分波器 5 4 2 に入力する光信号（図 1 2 中の A 点における光信号）は、第 1 ～第 3 の波長帯域 I～III を含む波長帯域において、波長分散および分散スロープが共に負である分散補償デバイス 5 3 1 によって累積分散量が低減される。このとき、図 1 4 25 B に示すように第 1 の波長帯域 I の光信号は累積分散量が十分に小さいので、分岐伝送路 5 2 2 へ出力される。しかし、第 2 および第 3 の波長帯域 II, III の光信

号は累積分散量が負方向に大きくなってしまい、分散補償デバイス 5 3 2 へ入力される。

中段の分散補償デバイス 5 3 2 から出力され分波部 5 4 3 に入力する光信号 (図 1 2 中の B 点における光信号) は、第 2 および第 3 の波長帯域を含む波長帯域において、波長分散および分散スロープが共に正である分散補償デバイス 5 3 2 により累積分散量が更に低減される。このとき、図 1 4 C に示すように第 2 の波長帯域 II の光信号は累積分散量が十分に小さいので、分岐伝送路 5 2 3 へ出力される。しかし、第 3 の波長帯域 III の光信号は累積分散量が依然として負方向に大いため、分散補償デバイス 5 3 3 へ入力される。

最終段の分散補償デバイス 5 3 3 から出力され合波部 5 5 0 に入力する光信号 (図 1 2 中の C 点における光信号) は、第 3 の波長帯域 III において、波長分散および分散スロープが共に正である分散補償デバイス 5 3 3 により累積分散量が更に低減される。この結果、図 1 4 D に示すように第 3 の波長帯域 III の光信号は累積分散量が十分に小さくなる。そして、合波部 5 5 0 より出力端 5 0 0 b へ出力される光信号は、第 1 ～第 3 の波長帯域 I ～III を含む波長帯域において累積分散量が十分に小さいものとなる。

このように、この分散補償システム 5 0 0 では、第 1 ～第 3 の波長帯域それぞれの光信号は、各々が経る分散補償デバイスの個数が異なり、これに応じて適切な分散補償がなされる。したがって、この分散補償システム 5 0 0 は、第 1 ～第 3 の波長帯域を含む広い波長帯域に亘って累積分散を低減することができる。

次に、本発明に係る分散補償システムの第 6 の実施例について説明する。図 1 5 は、第 6 の実施例に係る分散補償システム 6 0 0 の概略構成図である。分散補償システム 6 0 0 は、入力端 6 0 0 a と出力端 6 0 0 b との間の主伝送路 6 1 0 上に、分波器 6 4 1、分散補償デバイス 6 3 1、分波器 6 4 2、分散補償デバイス 6 3 2 および合波器 6 5 0 を順に備える。分波器 6 4 1、6 4 2 それぞれは、WDM カプラであるのが好適である。

分波器 6 4 1 は、入力端 6 0 0 a から入力した光信号（例えば、信号波長帯域 1 4 9 0 nm ~ 1 6 2 0 nm）を分波し、その分波した一方の第 1 の波長帯域（例えば、S バンド 1 4 9 0 nm ~ 1 5 2 0 nm）の光信号を分岐伝送路 6 2 1 へ出力し、残りの波長帯域の光信号を分散補償デバイス 6 3 1 へ出力する。分波器 6 4 2 は、分散補償デバイス 6 3 1 から出力された光信号を分波し、その分波した一方の第 2 の波長帯域（例えば、C バンド 1 5 2 0 nm ~ 1 5 6 5 nm）の光信号を分岐伝送路 6 2 2 へ出力し、残りの第 3 の波長帯域（例えば、L バンド 1 5 6 5 nm ~ 1 6 2 0 nm）の光信号を分散補償デバイス 6 3 2 へ出力する。合波部 6 5 0 は、分波器 6 4 1 から出力され分岐伝送路 6 2 1 を伝搬する第 1 の波長帯域の光信号、分波器 6 4 2 から出力され分岐伝送路 6 2 2 を伝搬する第 2 の波長帯域の光信号、および、分散補償デバイス 6 3 2 から出力された光信号を合波して出力する。合波部 6 5 0 から出力された光信号は、出力端 6 0 0 b から分散補償システム 6 0 0 の外部へ出力される。

本実施例では、分散補償デバイス 6 3 1 は分散補償光ファイバであり、分散補償デバイス 6 3 2 は 3 端子サーキュレータ 6 3 2 A およびチャープドファイバグレーティング 6 3 2 B を備えて構成される。3 端子サーキュレータ 6 3 2 A は、分波器 6 4 2 から入力された光信号をチャープドファイバグレーティング 6 3 2 B へ出力するとともに、チャープドファイバグレーティング 6 3 2 B から入力した光信号を合波部 6 5 0 へ出力する。チャープドファイバグレーティング 6 3 2 B は、光ファイバの光導波領域に屈折率変調が形成されたファイバグレーティングであって、その屈折率変調の間隔が長手方向に変化しているものであり、或る波長の光がブラッグ条件を満たす屈折率変調の間隔の位置でその光を反射させる。すなわち、3 端子サーキュレータ 6 3 2 A およびチャープドファイバグレーティング 6 3 2 B を備えて構成される分散補償デバイス 6 3 2 では、分波器 6 4 2 から合波部 6 5 0 へ到る光信号は、その波長に応じて異なる光路長を経ることから、この作用により分散が補償される。

したがって、この分散補償システム 600 では、入力端 600 a に入力した光信号のうち、分波器 641 より分岐伝送路 621 および合波部 650 を経て出力端 600 b へ出力される第 1 の波長帯域の光信号は、分散補償されることがない。分波器 642 より分岐伝送路 622 および合波部 650 を経て出力端 600 b へ出力される第 2 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 631 のみにより分散補償される。また、分散補償デバイス 632 より合波部 650 を経て出力端 600 b へ出力される第 3 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 631 および 632 により分散補償される。

このように、この分散補償システム 600 では、分散補償をする必要がない第 1 の波長帯域の光信号は分散補償されことなく出力される。分散補償をする必要がある第 2 および第 3 の波長帯域それぞれの光信号は、各々が経る分散補償デバイスの個数が異なり、これに応じて適切な分散補償がなされる。したがって、この分散補償システム 600 は、第 1 ～第 3 の波長帯域を含む広い波長帯域に亘って累積分散を低減することができる。

次に、本発明に係る分散補償システムの第 7 の実施例について説明する。図 16 は、第 7 の実施例に係る分散補償システム 700 の概略構成図である。分散補償システム 700 は、入力端 700 a と出力端 700 b との間の主伝送路 710 上に、分波器 741、分散補償デバイス 731、分波器 742、分散補償デバイス 732、分波器 743、分散補償デバイス 733 および光増幅器 760 を順に備える。また、この図には、受信器 791、受信器 792 および ADM (Add-Drop Multiplexer) 793 も示されている。分散補償デバイス 731 ～ 733 それぞれは、分散補償光ファイバであるのが好適であり、分波器 741 ～ 743 それぞれは、WDM カブラであるのが好適である。

分波器 741 は入力端 700 a から入力した光信号（例えば、信号波長帯域 1450 nm ～ 1620 nm）を分波し、その分波した一方の第 1 の波長帯域（例えば、S+バンド 1450 nm ～ 1490 nm）の光信号を分岐伝送路 721 を

経て出力端 700c へ出力し、残りの波長帯域の光信号を分散補償デバイス 731 へ出力する。分波器 742 は、分散補償デバイス 731 から出力された光信号を分波し、その分波した一方の第 2 の波長帯域（例えば、S バンド 1490 nm ~ 1520 nm）の光信号を分岐伝送路 722 を経て出力端 700d へ出力し、
5 残りの波長帯域の光信号を分散補償デバイス 732 へ出力する。分波器 743 は、分散補償デバイス 732 から出力された光信号を分波し、その分波した一方の第 3 の波長帯域（例えば、C バンド 1520 nm ~ 1565 nm）の光信号を分岐伝送路 723 を経て出力端 700e へ出力し、残りの第 4 の波長帯域（例えば、L バンド 1565 nm ~ 1620 nm）の光信号を分散補償デバイス 733 へ出力する。光増幅器 760 は、分散補償デバイス 733 から出力された光信号を増幅し、増幅した光信号を出力端 700b へ出力する。

この分散補償システム 700 では、入力端 700a から入力した光信号のうち、分波器 741 において分波され分岐伝送路 721 を経て出力端 700c へ出力される第 1 の波長帯域の光信号は、何れの分散補償デバイスによっても分散補償されることなく受信器 791 によって受信される。分波器 742 において分波され分岐伝送路 722 を経て出力端 700d へ出力される第 2 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 731 のみによって分散補償され、受信器 792 によって受信される。分波器 743 において分波され分岐伝送路 723 を経て出力端 700e へ出力される第 3 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 731, 732 により分散補償され、ADM 793 を介して他の系へ伝送される。また、出力端 700b へ出力される第 4 の波長帯域の光信号は、分散補償デバイス 731 ~ 733 によって分散補償され、光増幅器 760 により増幅されて後段へ伝送される。

このように、この分散補償システム 700 では、分散補償をする必要がない第 1 の波長帯域の光信号は、分散補償されることなく出力端 700c より出力され、受信器 791 により受信される。分散補償をする必要がある第 2 ~ 第 4 の波長帯域それぞれの光信号は、各々が経る分散補償デバイスの個数が異なり、これに
25

じて適切な分散補償がなされ、出力端 700b, 700d および 700e の何れ
かから出力される。また、更に後段へ送出される第 4 の波長帯域の光信号は、光
増幅器 760 によって増幅された後に出力端 700b から出力される。したがっ
て、この分散補償システム 700 は、第 1 ～第 4 の波長帯域を含む広い波長帯域
5 に亘って累積分散を低減しつつ光信号を選別することが可能な機能性装置として
適用が可能である。

次に、本発明に係る分散補償システムの第 8 の実施例について説明する。図 1
7 は、第 8 の実施例に係る分散補償システム 800 の概略構成図である。分散補
償システム 800 は、第 1 および第 2 の共通伝送路 811, 812、第 1 ～第 4
10 の分岐伝送路 821 ～824、分波器 831、合波器 832、ならびに第 1 ～第
4 の分散補償デバイス 841 ～844 を備えている。この分散補償システム 800
は、第 1 の共通伝送路 811 の一端に相当する入力端 815 を介して外部のシ
ングルモード光ファイバ 1 と接続されている。よって、シングルモード光ファイ
バ 1 を伝搬する光信号は、入力端 815 から分散補償システム 800 に入力され
15 る。

分波器 831 は、第 1 の共通伝送路 811 と第 1 ～第 4 の分岐伝送路 821 ～
824 との間に設けられている。この分波器 831 は、第 1 の共通伝送路 811
を伝搬する信号波長帯域 1450nm ～1620nm の光信号を、S+バンド(1
450nm ～1490nm)、Sバンド(1490nm ～1520nm)、Cバン
20 ド(1520nm ～1565nm) と Lバンド(1565nm ～1620nm)
とに分波する。そして、分波器 831 は S+バンドの光信号を第 1 の分岐伝送路
821 に出力し、Sバンドの光信号を第 2 の分岐伝送路 822 に出力し、Cバン
ドの光信号を第 3 の分岐伝送路 823 に出力し、Lバンドの光信号を第 4 の分岐
伝送路 824 に出力する。

合波器 832 は、第 2 の共通伝送路 812 と第 1 ～第 4 の分岐伝送路 821 ～
824 との間に設けられている。この合波器 832 は、第 1 の分岐伝送路 821
25

を伝搬するS+バンドの光信号、第2の分岐伝送路822を伝搬するSバンドの光信号、第3の分岐伝送路823を伝搬するCバンドの光信号および第4の分岐伝送路824を伝搬するLバンドの光信号を合波し、合波した光信号を第2の共通伝送路812に出力する。なお、合波器832から出力されて第2の共通伝送路812を伝搬する光信号は、第2の共通伝送路812の一端に相当する出力端816を介して外部に出力される。

ここで、第1の共通伝送路811上には第1の分散補償デバイス841が設けられている。第1の分散補償デバイス841は、S+バンド、Sバンド、CバンドおよびLバンドにおける分散を補償する。しかし、第1の分散補償デバイス841は、S+バンドにおける分散の補償は充分に行うことができても、Sバンド、CバンドおよびLバンドにおける分散の補償を充分には行うことができない。一方、第2の分岐伝送路822上には第2の分散補償デバイス842が設けられている。したがって、第1の分散補償デバイス841による分散補償が充分でなかったSバンドにおける分散は、第2の分散補償デバイス842によって充分に補償される。また、第3の分岐伝送路823上には第3の分散補償デバイス843が設けられている。したがって、第1の分散補償デバイス841による分散補償が充分でなかったCバンドにおける分散は、第3の分散補償デバイス843によって充分に補償される。さらに、第4の分岐伝送路824上には第4の分散補償デバイス844が設けられている。したがって、第1の分散補償デバイス841による分散補償が充分でなかったLバンドにおける分散は、第4の分散補償デバイス844によって充分に補償される。

なお、分波器831によって分波した各波長帯域における分散を補償する第2～第4の分散補償デバイスは、コイル状に巻かれてモジュールの形態を有すると好ましい。このようにすれば、設置スペースの減少、設備コストの低減が図られる。

第1の分岐伝送路821上には光増幅器851、855が設けられており、S

5 +バンドの光信号を増幅する。また、第2の分岐伝送路822上には光増幅器852, 856が設けられており、Sバンドの光信号を増幅する。また、第3の分岐伝送路823上には光増幅器853, 857が設けられており、Cバンドの光信号を増幅する。さらに、第4の分岐伝送路824上には光増幅器854, 858が設けられており、Lバンドの光信号を増幅する。なお、光増幅器は第1～第4の分岐伝送路821～824のそれぞれの入力端側と出力端側の少なくとも一方に設けられていれば足りる。また光増幅器としては、例えば"Crosstalk Bandwidth in Backward Pumped Fiber Raman Amplifiers"(IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, NOVEMBER 1999, VOL.11, NO.11, pp.1417-1419, Jun Shan Wey et al.)に
10 開示されているようなラマン増幅器を用いることができる。

ここで、本実施例にかかる分散補償システム800では、信号波長帯域1520nm～1620nm(Cバンド、Lバンド)における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、好ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下、より好ましくは $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下、さらに好ましくは $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると良く、 $\pm 0.025 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると最も好ましい。
15

一般的に、光信号のビットレートを上げるに伴って、分散に対する要求は厳しくなる。 10 Gbit/s の信号速度では累積分散は 1000 ps/nm 以下であることが必要とされ、信号速度が 20 Gbit/s 、 40 Gbit/s と上がるに伴って、累積分散はそれぞれ 250 ps/nm 以下、 63 ps/nm 以下であることが必要とされる。このように信号速度を上げるに伴って、または伝送距離を長くするに伴って、光信号の伝送が難しくなる。
20

例えば、 10 Gbit/s の光信号を用いて太平洋横断に必要な 10000 km の距離での伝送を考えた場合、累積分散が 1000 ps/nm 以下であることが必要であるため、分散は 0.1 ps/nm/km 以下であることが必要である。
25

同様に、大西洋横断を考慮した 5000 km の距離での伝送を考えた場合、分散は 0.2 ps/nm/km 以下であることが必要である。さらに、 2000 km

mの距離での伝送を考えた場合、分散は 0.5 ps/nm/km 以下であることが必要である。

また、 20 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送を考えた場合、累積分散が 250 ps/nm 以下であることが必要であるため、分散は 0.025 ps/nm/km 以下であることが必要であり、 5000 km の距離での伝送を考えた場合、分散は 0.05 ps/nm/km 以下であることが必要である。

よって、信号波長帯域 $1520 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ (Cバンド、Lバンド) における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 2000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 20 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。さらに、分散偏差が $\pm 0.025 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 20 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送が可能となる。

現在、伝送容量の拡大の要求が高まっており、それを解決するために伝送速度を上げると共に使用波長帯域を拡大する方向で研究が進められている。これに伴い、Cバンド ($1520 \text{ nm} \sim 1565 \text{ nm}$)、Lバンド ($1565 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$) に加えて、Sバンド ($1490 \text{ nm} \sim 1520 \text{ nm}$) およびS+バンド ($1450 \text{ nm} \sim 1490 \text{ nm}$) が注目されている。伝送容量を拡大するためにはこれら全てのバンドを使用することが有効である。

よって、本実施例にかかる分散補償システム800では、CバンドおよびLバンドにSバンドを加えた、信号波長帯域 $1490 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、好ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$

以下、より好ましくは $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると良く、 $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると最も好ましい。信号波長帯域 $1490 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ (Sバンド、Cバンド、Lバンド)における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 2000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 10000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 20 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。

さらに、本実施例にかかる分散補償システム800では、Cバンド、LバンドおよびSバンドにS+バンドを加えた、信号波長帯域 $1450 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下、好ましくは $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると良い。信号波長帯域 $1450 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ (S+バンド、Sバンド、Cバンド、Lバンド)における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 2000 km の距離での伝送が可能となる。また、分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であれば、 10 Gbit/s の光信号を用いて 5000 km の距離での伝送が可能となる。

このように第8の実施例にかかる分散補償システム800では、信号波長帯域 $1450 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ のうち、S+バンドについては第1の分散補償デバイス841により分散が補償されるとともに、光増幅器851, 855により光信号が増幅される。また、Sバンドについては第1および第2の分散補償デバイス841, 842の双方により分散が補償されるとともに光増幅器852, 856により光信号が増幅される。また、Cバンドについては第1および第3の分散補償デバイス841, 843の双方により分散が補償されるとともに、光増幅器

853, 857により光信号が増幅される。さらに、Lバンドについては第1および第4の分散補償デバイス841, 844の双方により分散が補償されるとともに光増幅器854, 858により光信号が増幅される。その結果、S+バンド、Sバンド、CバンドおよびLバンドを含む信号波長帯域の広範囲に亘って、光伝送路の分散を十分に低減することができ、また、光信号を増幅することができる。

この第8の実施例に係る分散補償システム800は、中継局に用いるのに好適である。

次に、第8の実施例にかかる分散補償システム800の具体例を示す。

シングルモード光ファイバ1は、コアが純シリカでありクラッドがF元素添加シリカであって、波長 $1.3\mu\text{m}$ 付近に零分散波長を有するものを用いる。このシングルモード光ファイバ1は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が 20.4ps/nm/km であり、分散スロープが $0.059\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である。

第1の分散補償デバイス841は、図18A, 18Bに示された屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバを用いる。この第1の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）841は、コア31の径 $2a$ が $4.2\mu\text{m}$ であり、第1クラッド32の外径 $2b$ が $7.3\mu\text{m}$ であり、第2クラッド33の外径 $2c$ が $22\mu\text{m}$ である。第3クラッド34に対するコア31の比屈折率差 Δ^+ は 1.4% であり、第3クラッド34に対する第1クラッド32の比屈折率差 Δ^- は -0.7% であり、第3クラッド34に対する第2クラッド33の比屈折率差 Δ_3 は 0.09% である。そして、第1の分散補償デバイス841は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散が -64.4ps/nm/km であり、分散スロープが $-0.207\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である。

第2の分散補償デバイス842は、零分散波長が 1502nm であって、波長 $1.55\mu\text{m}$ において分散スロープが $0.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である分散シフト光ファイバを用いる。

第3の分散補償デバイス843は、零分散波長が 1518nm であって、波長

1.55 μm において分散スロープが0.12 ps/nm²/kmである分散シフト光ファイバを用いる。

第4の分散補償デバイス844は、零分散波長が1530 nmであって、波長1.55 μm において分散スロープが0.12 ps/nm²/kmである分散シフト光ファイバを用いる。

図19は、このようなシングルモード光ファイバ1と第1～第4の分散補償デバイス（分散補償光ファイバ）841～844とを、シングルモード光ファイバ1の長さを37.6 km、第1の分散補償デバイス841の長さを12.4 km、第2の分散補償デバイス842の長さを3.5 km、第3の分散補償デバイス843の長さを8.8 km、第4の分散補償デバイス844の長さを11.5 kmで接続した場合において、これらの全体の分散特性を示している。図19から判るように、信号波長帯域1520 nm～1620 nm（Cバンド、Lバンド）においては、分散偏差が±0.025 ps/nm/km以下に抑えられている。

また、信号波長帯域1490 nm～1620 nm（Sバンド、Cバンド、Lバンド）においては、分散偏差が±0.05 ps/nm/km以下に抑えられている。

また、信号波長帯域1450 nm～1620 nm（S+バンド、Sバンド、Cバンド、Lバンド）においては、分散偏差が±0.2 ps/nm/km以下に抑えられている。

本発明は、上記実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、第1または第3の実施例に係る分散補償システムにおいてもCバンド用の光増幅器およびLバンド用の光増幅器を更に設けてもよい。

また、第8の実施例にかかる分散補償システムにおいて、第1の分岐伝送路（図17の821）上にも新たに分散補償デバイスを設けてもよい。このようにすれば、第1の分散補償デバイス841によるS+バンドにおける分散の補償が充分でなかった場合でも、第1の分岐伝送路上の新たな分散補償デバイスによってS

+バンドにおける分散をさらに補償することが可能となる。

5 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

産業上の利用可能性

10 本発明の分散補償システムによれば、広い信号波長帯域において分散を十分に低減することができる。よって、本発明の分散補償システムを適用した光伝送システムにおいては大容量の光通信を行うことが可能となる。

請求の範囲

1. 信号波長帯域1520nm～1620nm用の分散補償システムであって、

5 前記信号波長帯域の光が伝搬する第1の共通伝送路と、

前記第1の共通伝送路から分岐される第1および第2の分岐伝送路と、

前記第1の共通伝送路と前記第1および第2の分岐伝送路との間に設けられて
おり、該第1の共通伝送路を伝搬する前記信号波長帯域の光を第1および第2の
波長帯域に分波し、該第1の波長帯域の光を該第1の分岐伝送路に出力すると共
10 に該第2の波長帯域の光を前記第2の分岐伝送路に出力する分波器と、

前記第1の共通伝送路上に設けられており少なくとも前記第1の波長帯域にお
ける分散を補償する第1の分散補償デバイスと、

前記第2の分岐伝送路上に設けられており前記第2の波長帯域における分散を
補償する第2の分散補償デバイスと、

15 を備える分散補償システム。

2. 前記第1の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$
以下となるように前記第1の波長帯域における分散を補償し、前記第1および第
2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるよう
に前記第2の波長帯域における分散を補償する請求項1に記載の分散補償システ
20 ム。

3. 前記第1の分岐伝送路上に設けられる第3の分散補償デバイスを更に備
え、前記第1の波長帯域における分散を前記第1および第3の分散補償デバイス
により補償する請求項1に記載の分散補償システム。

4. 前記第1および第3の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/}$
25 nm/km 以下となるように前記第1の波長帯域における分散を補償し、前記第
1および第2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下

となるように前記第 2 の波長帯域における分散を補償する請求項 3 に記載の分散補償システム。

5. 前記第 1 の分散補償デバイスの波長 $1.55\mu\text{m}$ での分散スロープ補償率は $60\sim 150\%$ である請求項 1 に記載の分散補償システム。

5 6. 前記第 1 の分岐伝送路を伝搬する前記第 1 の波長帯域の光と、前記第 2 の分岐伝送路を伝搬する前記第 2 の波長帯域の光とを合波する合波器を更に備える請求項 1 に記載の分散補償システム。

7. 前記第 1 の分岐伝送路上に設けられており前記第 1 の波長帯域の光を増幅する第 1 の光増幅器と、

10 前記第 2 の分岐伝送路上に設けられており前記第 2 の波長帯域の光を増幅する第 2 の光増幅器と、
を更に備える請求項 1 に記載の分散補償システム。

8. 前記第 1 および第 2 の光増幅器はラマン増幅器を含む請求項 7 に記載の分散補償システム。

15 9. 信号波長帯域 $1520\text{nm}\sim 1620\text{nm}$ 用の分散補償システムであって、

前記信号波長帯域の光が伝搬する第 1 の共通伝送路と、

前記第 1 の共通伝送路から分岐される第 1 および第 2 の分岐伝送路と、

20 前記第 1 の共通伝送路と前記第 1 および第 2 の分岐伝送路との間に設けられており、該第 1 の共通伝送路を伝搬する前記信号波長帯域の光を第 1 および第 2 の波長帯域に分波し、該第 1 の波長帯域の光を該第 1 の分岐伝送路に出力すると共に該第 2 の波長帯域の光を前記第 2 の分岐伝送路に出力する分波器と、

前記第 1 の分岐伝送路上に設けられており前記第 1 の波長帯域における分散を補償する第 1 の分散補償デバイスと、

25 前記第 2 の分岐伝送路上に設けられており前記第 2 の波長帯域における分散を補償する第 2 の分散補償デバイスと、

を備える分散補償システム。

10. 前記第1の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように前記第1の波長帯域における分散を補償し、前記第2の分散補償デバイスは、分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下となるように前記第2の波長帯域における分散を補償する請求項9に記載の分散補償システム。

11. 前記第1の分岐伝送路を伝搬する前記第1の波長帯域の光と、前記第2の分岐伝送路を伝搬する前記第2の波長帯域の光とを合波する合波器を更に備える請求項9に記載の分散補償システム。

12. 前記第1の分岐伝送路上に設けられており前記第1の波長帯域の光を増幅する第1の光増幅器と、

前記第2の分岐伝送路上に設けられており前記第2の波長帯域の光を増幅する第2の光増幅器と、
を更に備える請求項9に記載の分散補償システム。

13. 前記第1および第2の光増幅器はラマン増幅器を含む請求項12に記載の分散補償システム。

14. 入力端と出力端との間の主伝送路上に順に設けられた N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ ($N \geq 2$) と、

前記 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの分散補償デバイス DC_{n-1} と分散補償デバイス DC_n との間に設けられ、前記分散補償デバイス DC_{n-1} から出力された光信号を分波して、その分波した一方の波長帯域の光信号を前記分散補償デバイス DC_n へ出力し、他方の波長帯域の光信号を分岐伝送路 P_n へ出力する分波器 DIV_n ($2 \leq n \leq N$) と、を備え、

前記分波器 DIV_n により分波されて前記分岐伝送路 P_n へ出力する波長帯域の分散を、前記 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_{n-1}$ により補償する ($2 \leq n \leq N$) 分散補償システム。

15. 前記 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの初段の分散補償デ

バイス DC_1 の前段に設けられ、前記入力端に入力した光信号を分波して、その分波した一方の波長帯域の光信号を前記分散補償デバイス DC_1 へ出力し、他方の波長帯域の光信号を分岐伝送路 P_1 へ出力する分波器 DIV_1 を更に備える請求項 14 に記載の分散補償システム。

5 16. 前記 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの最終段の分散補償デバイス DC_N から出力された光信号と、前記分波器 DIV_n から前記分岐伝送路 P_n へ出力された光信号 ($2 \leq n \leq N$) とを入力し、これらの光信号を合波して出力する合波部を更に備える請求項 14 に記載の分散補償システム。

10 17. 前記 N 個の分散補償デバイス $DC_1 \sim DC_N$ のうちの最終段の分散補償デバイス DC_N から出力された光信号と、前記分波器 DIV_n から前記分岐伝送路 P_n へ出力された光信号 ($1 \leq n \leq N$) とを入力し、これらの光信号を合波して出力する合波部を更に備える請求項 15 に記載の分散補償システム。

15 18. 共通伝送路を介して入力した光信号を複数の波長帯域に分波し、分波されたそれぞれの波長帯域における分散を波長帯域ごとに補償する複数の分散補償デバイスを有する分散補償システム。

19. 分波する波長帯域の数が 2 以上 5 以下である請求項 18 に記載の分散補償システム。

20 20. 分波する波長帯域が $S+$ バンド、 S バンド、 C バンドおよび L バンドである請求項 18 に記載の分散補償システム。

21. 信号波長帯域 $1520 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項 18 に記載の分散補償システム。

22. 前記分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項 21 に記載の分散補償システム。

25 23. 前記分散偏差が $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項 21 に記載の分散補償システム。

24. 前記分散偏差が $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項 21 に

記載の分散補償システム。

25. 前記分散偏差が $\pm 0.025 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項21に記載の分散補償システム。

5 26. 信号波長帯域 $1490 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項18に記載の分散補償システム。

27. 前記分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項26に記載の分散補償システム。

28. 前記分散偏差が $\pm 0.1 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項26に記載の分散補償システム。

10 29. 前記分散偏差が $\pm 0.05 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項26に記載の分散補償システム。

30. 信号波長帯域 $1450 \text{ nm} \sim 1620 \text{ nm}$ における分散偏差が $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項18に記載の分散補償システム。

15 31. 前記分散偏差が $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下である請求項30に記載の分散補償システム。

32. 分波した各波長帯域における分散を補償する分散補償デバイスはモジュールの形態を有する請求項18に記載の分散補償システム。

図1

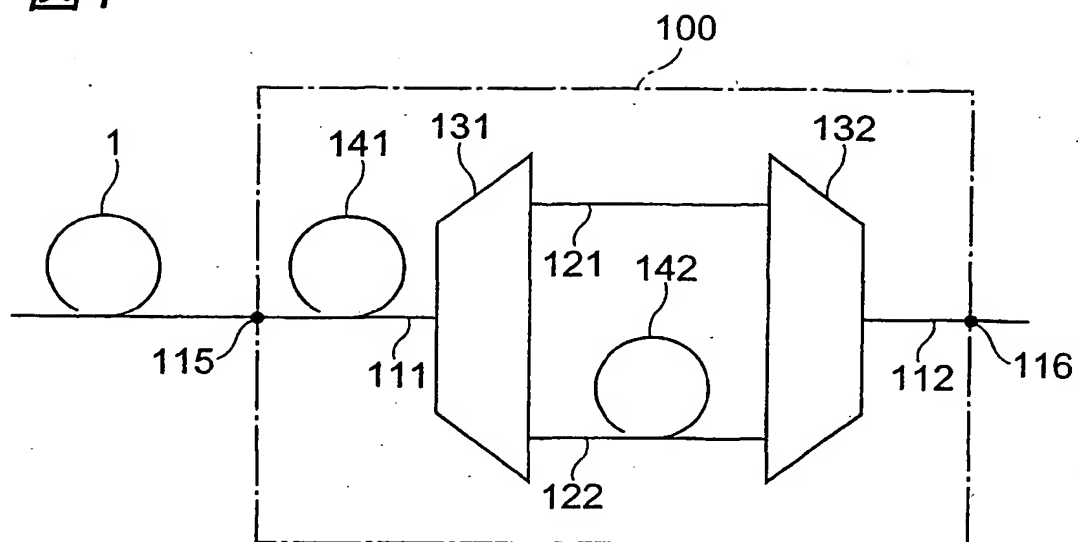


図2

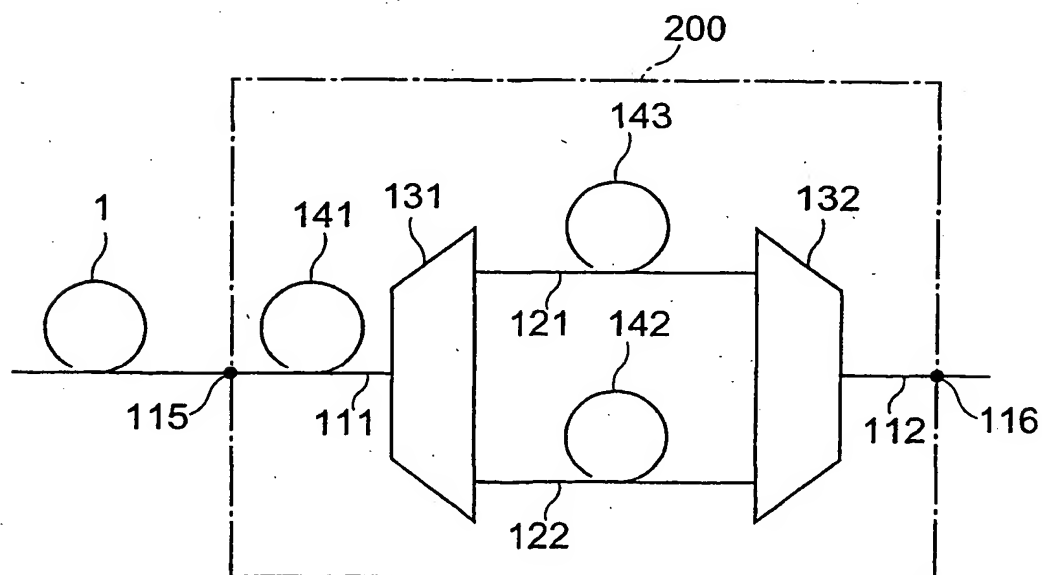


図3

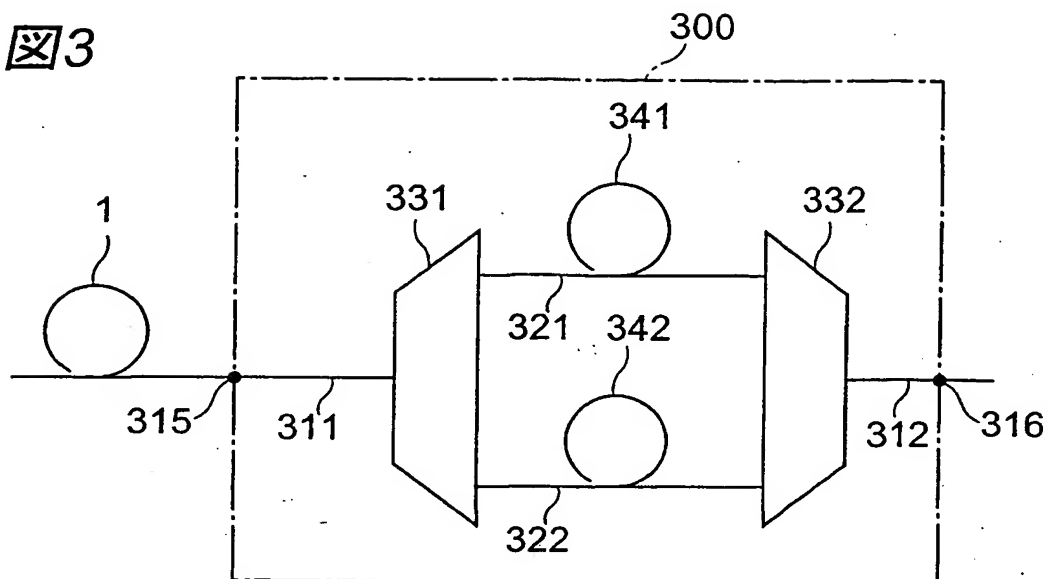


図4

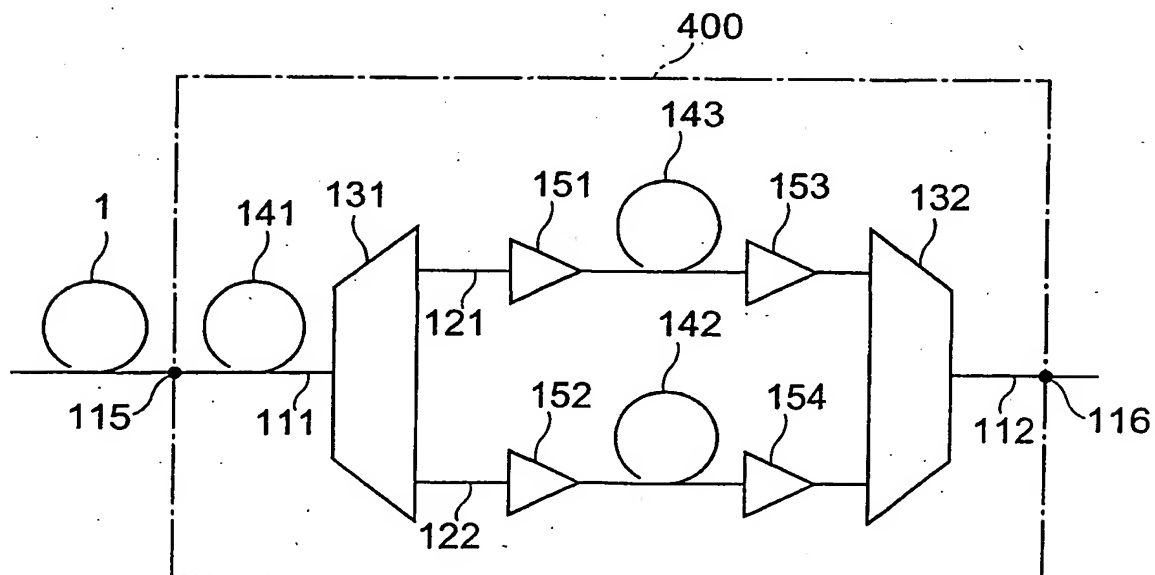


図5A

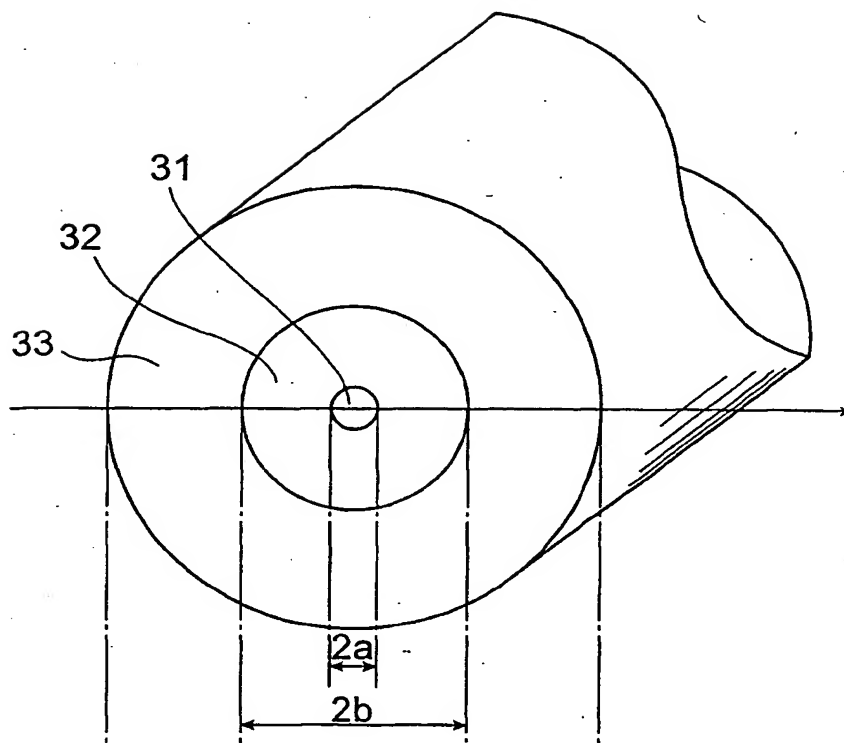


図5B

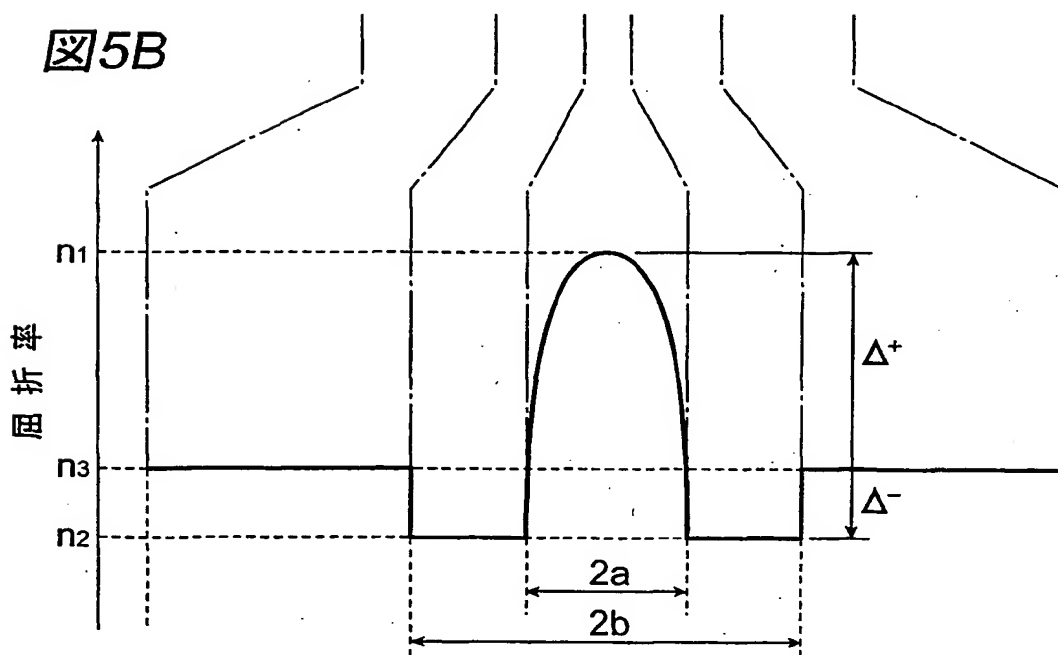


図6A

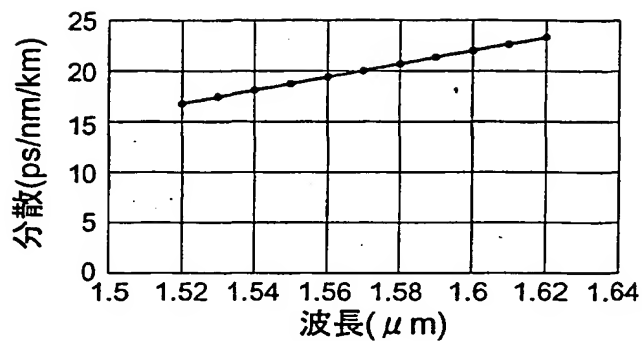


図6B

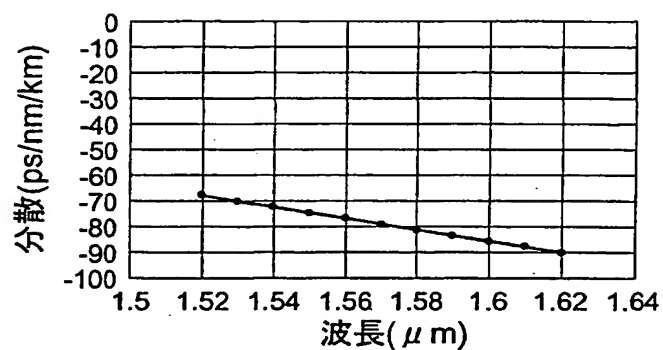


図6C

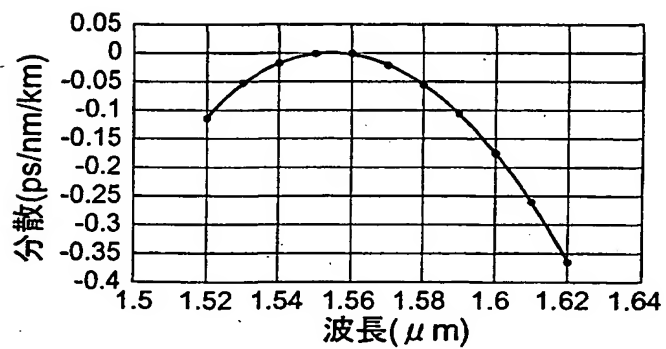


図6D

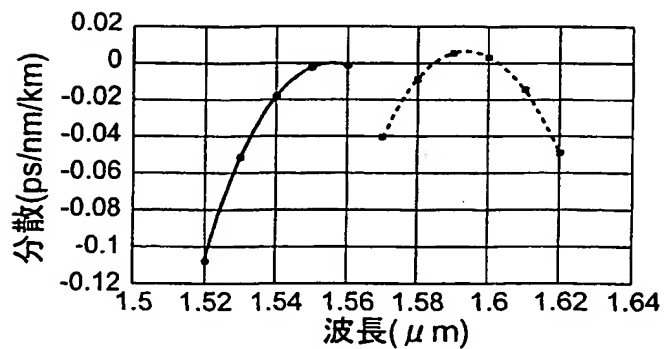


図7A

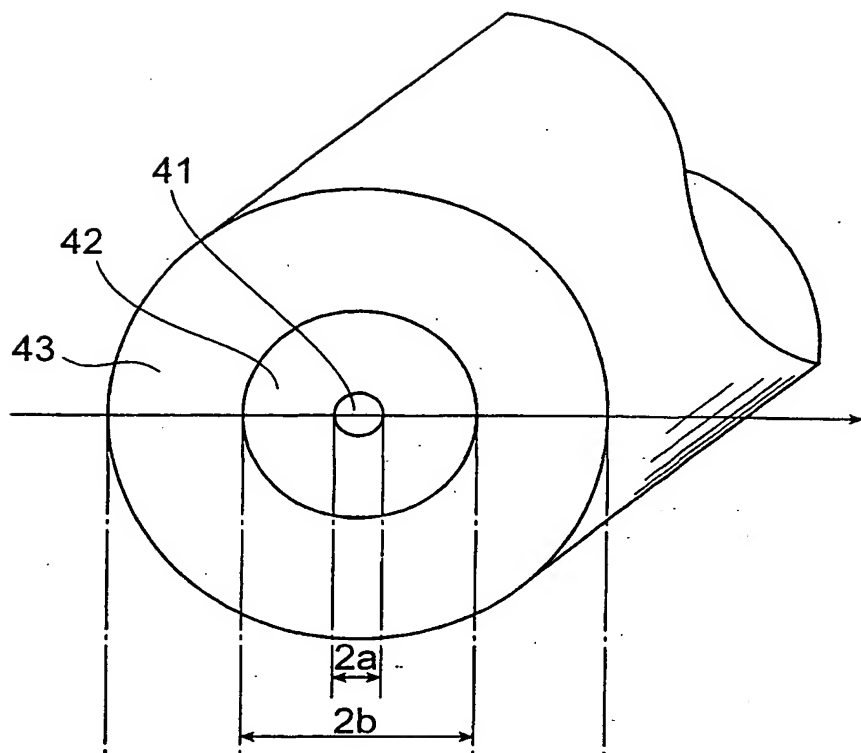


図7B

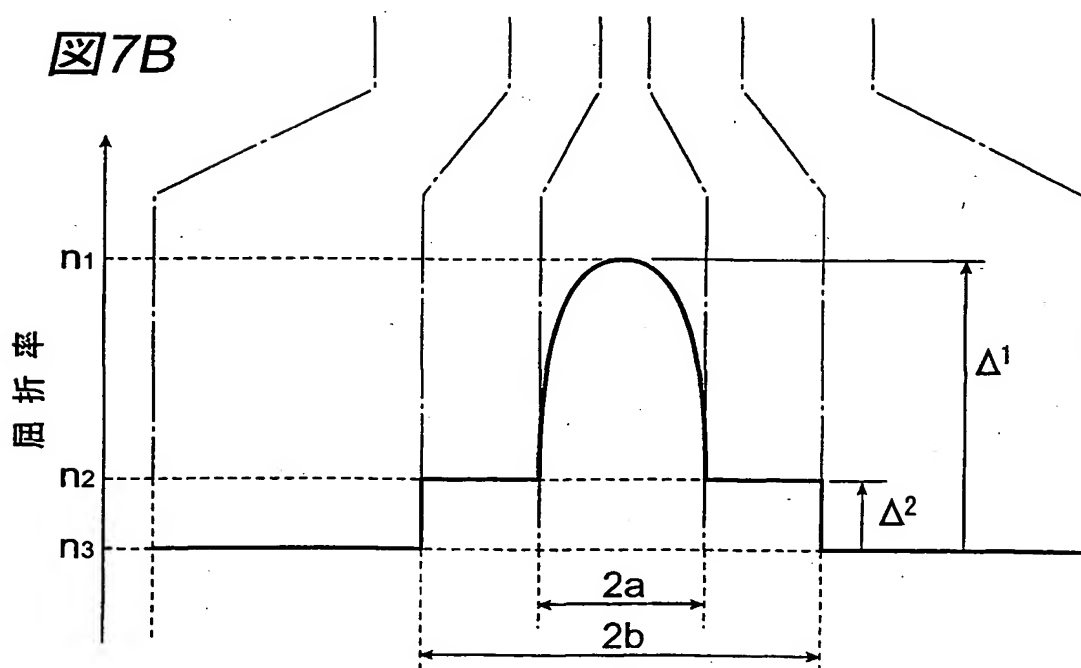


図8A

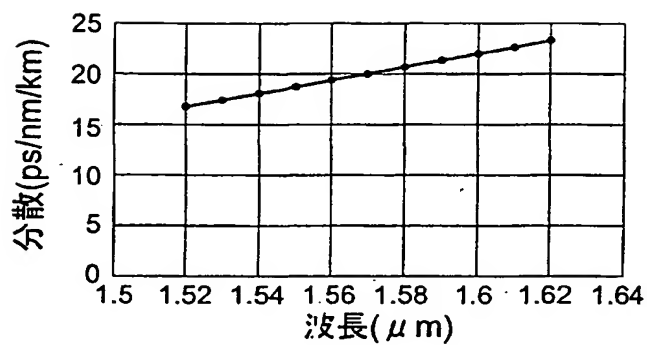


図8B

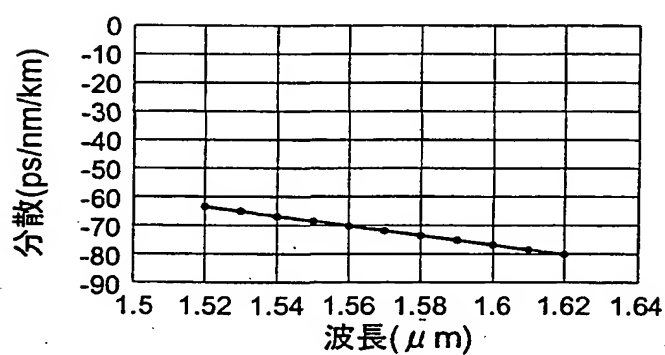


図8C

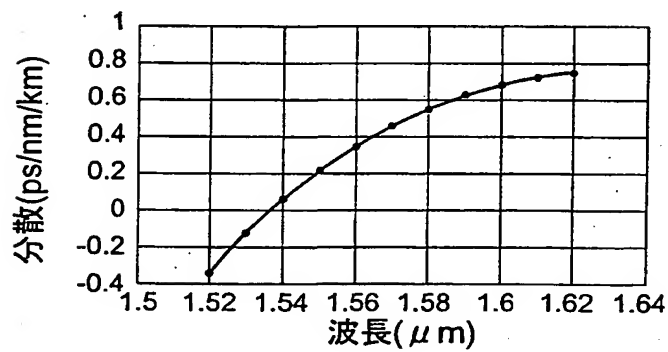


図8D

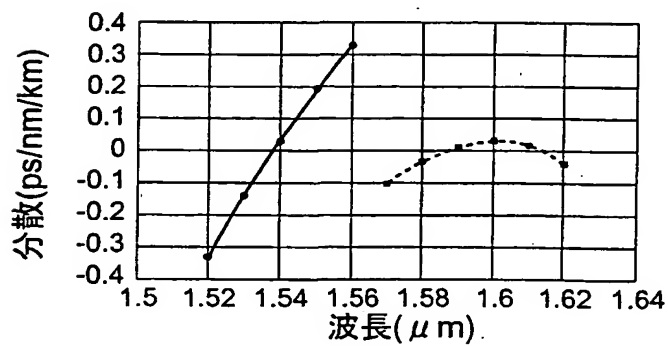


図9A

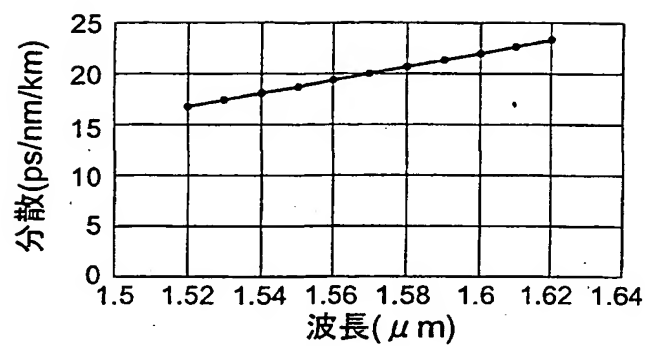


図9B

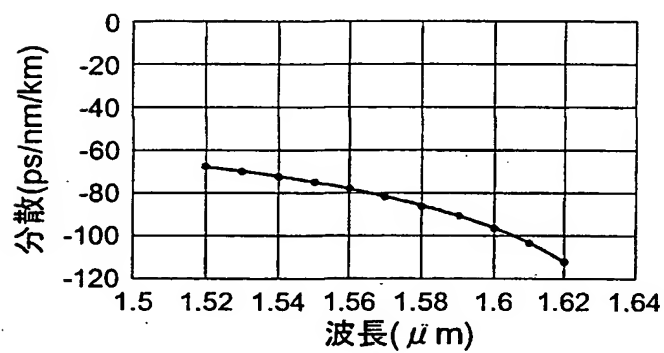


図9C

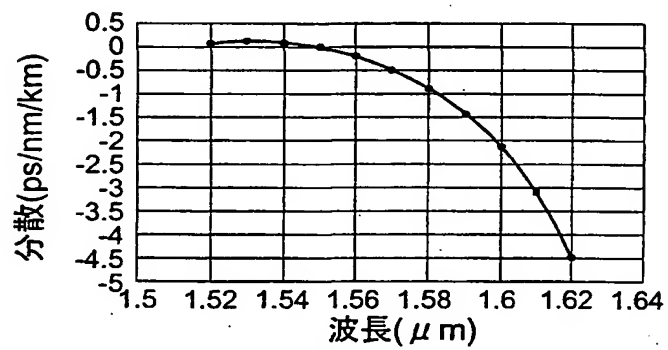


図9D

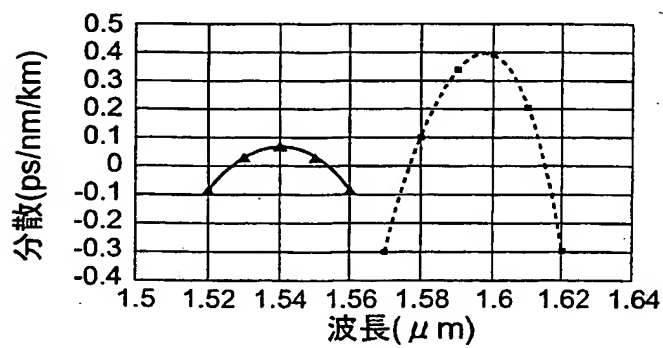


図10A

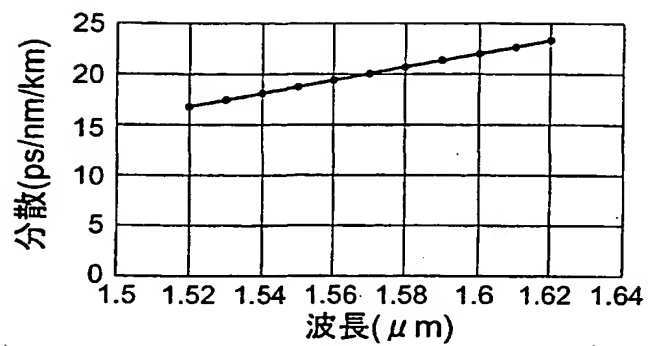


図10B

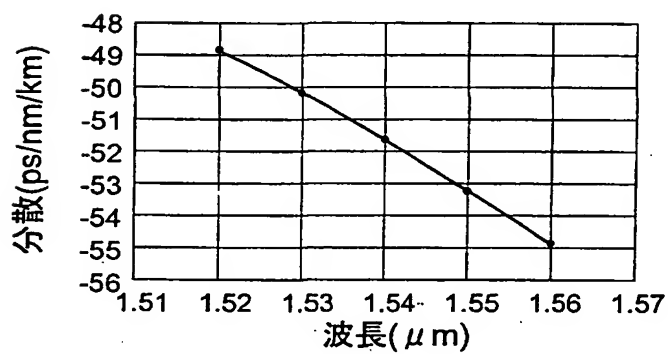


図10C

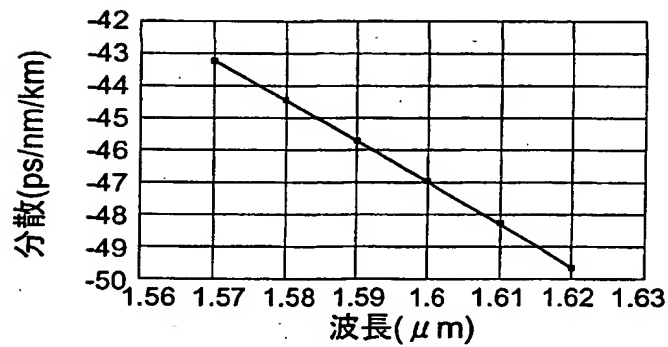


図10D

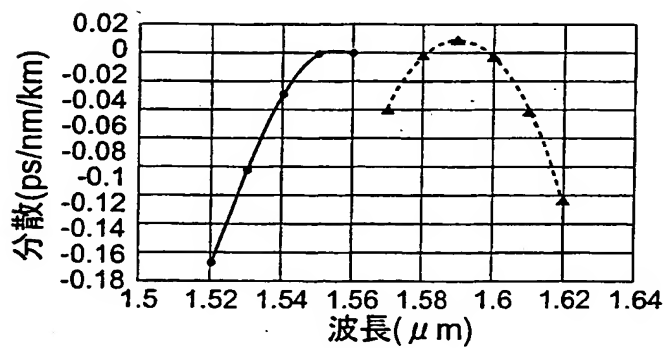


図11

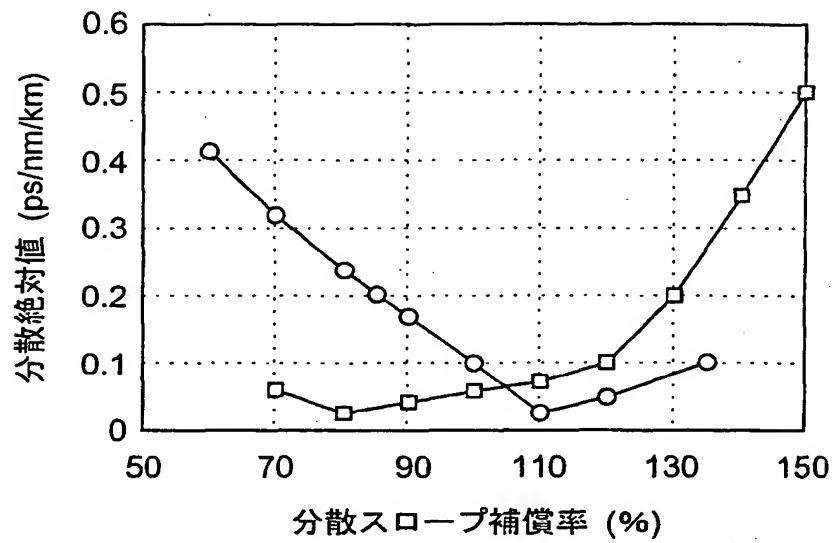


図12

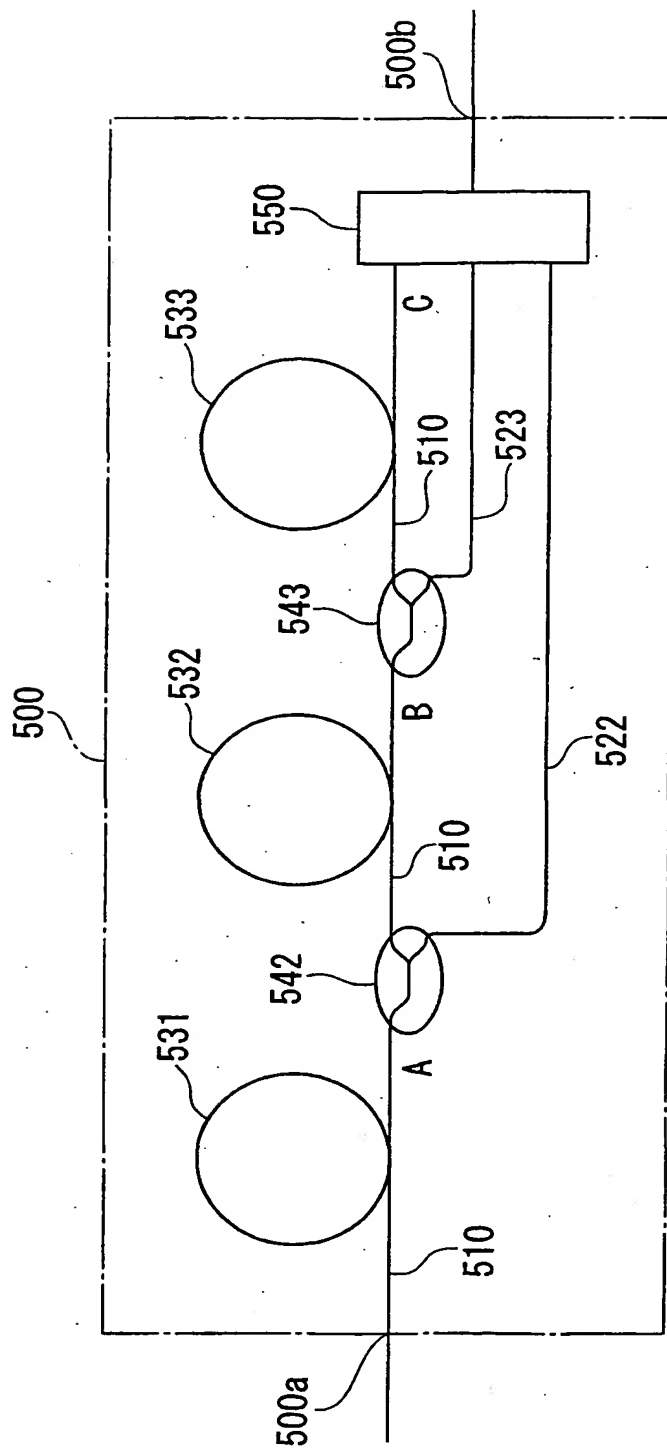


図13A

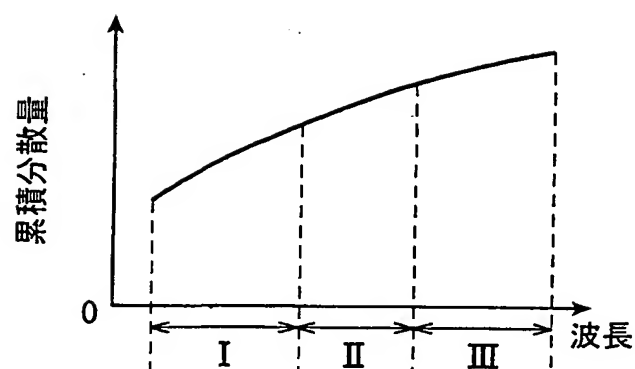


図13B

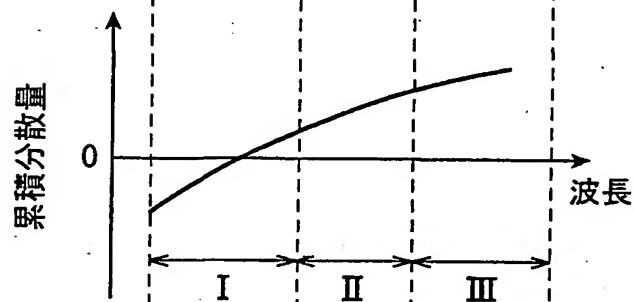


図13C

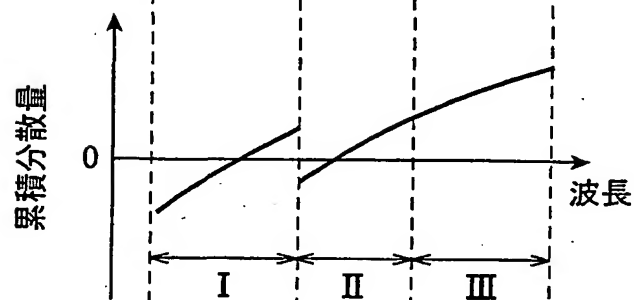


図13D

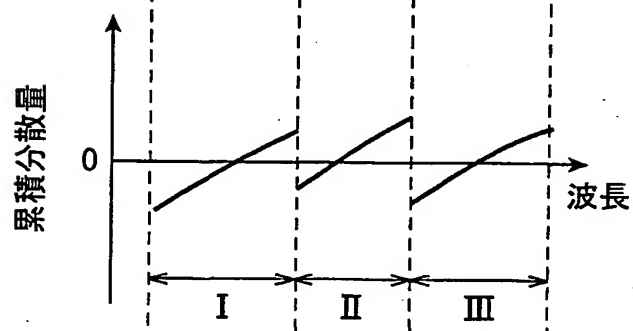


図14A

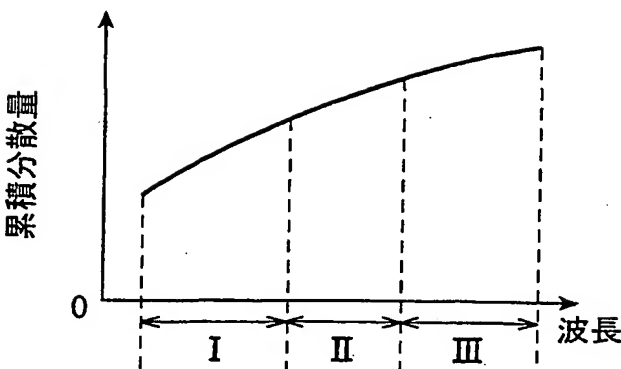


図14B

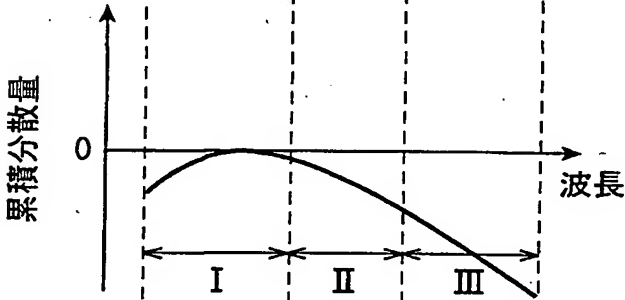


図14C

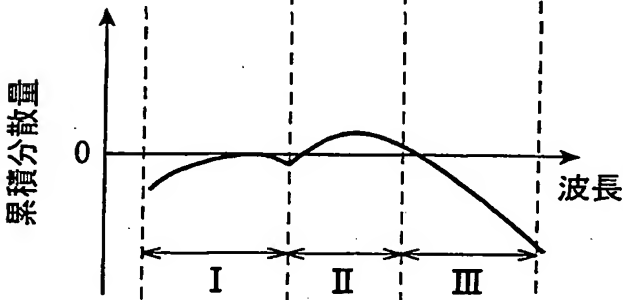


図14D

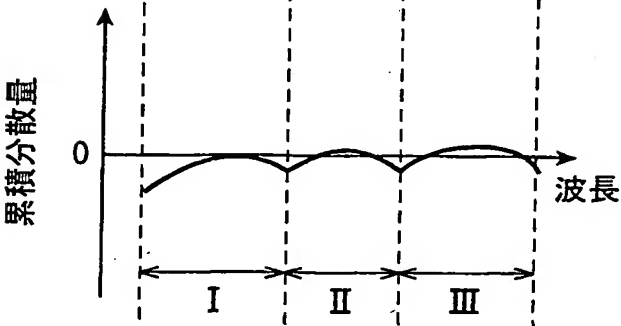


図15

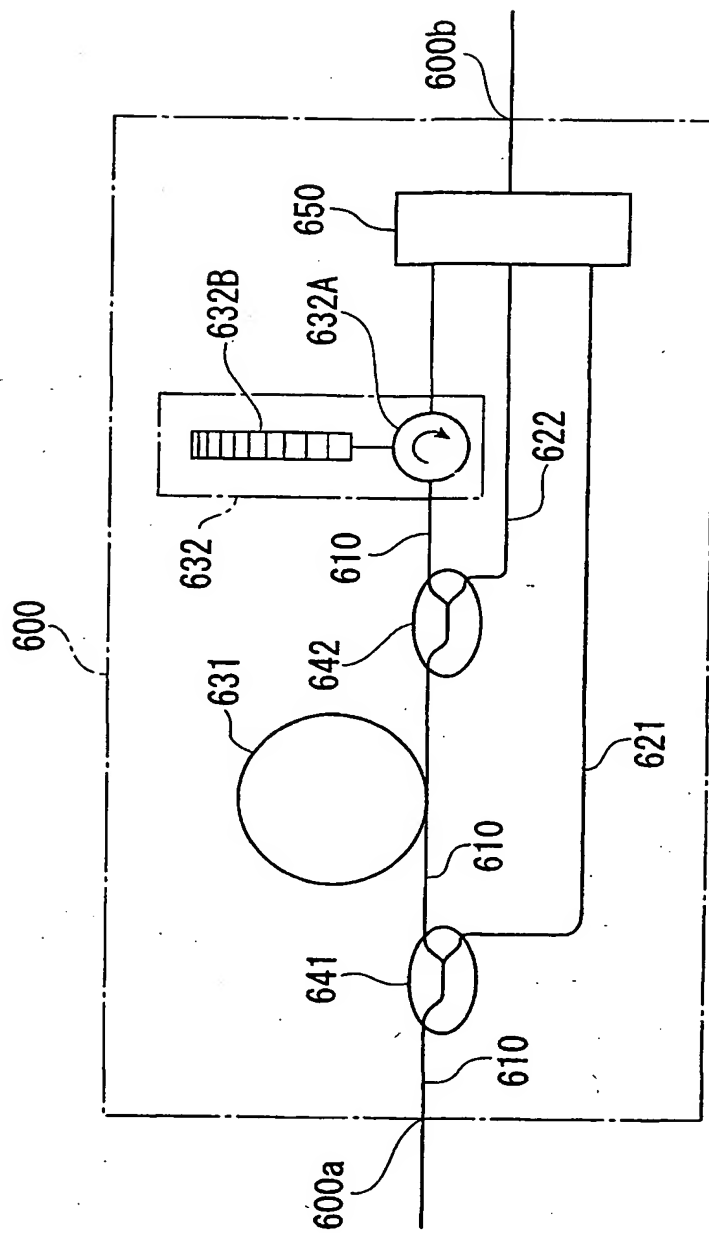


図16

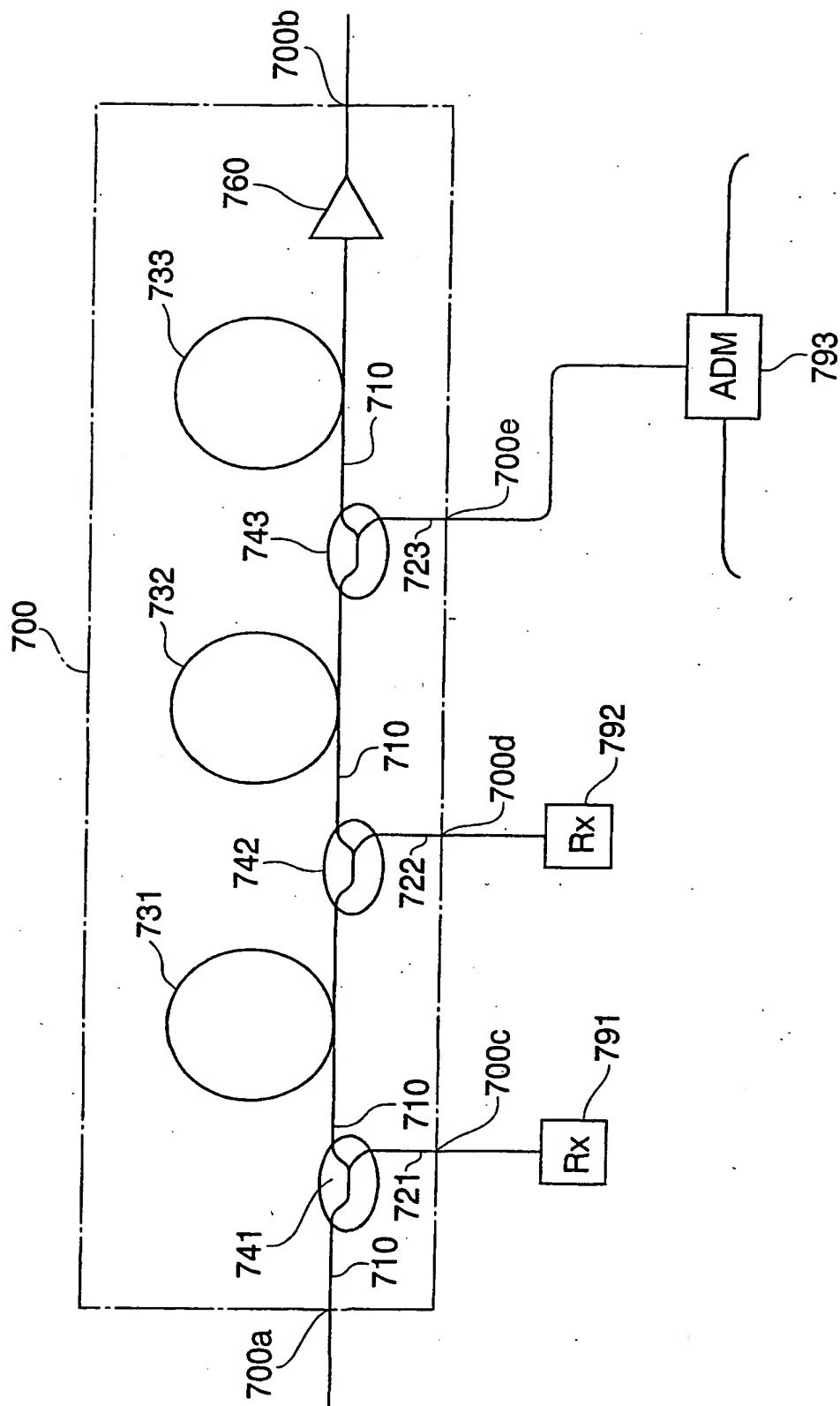


図17

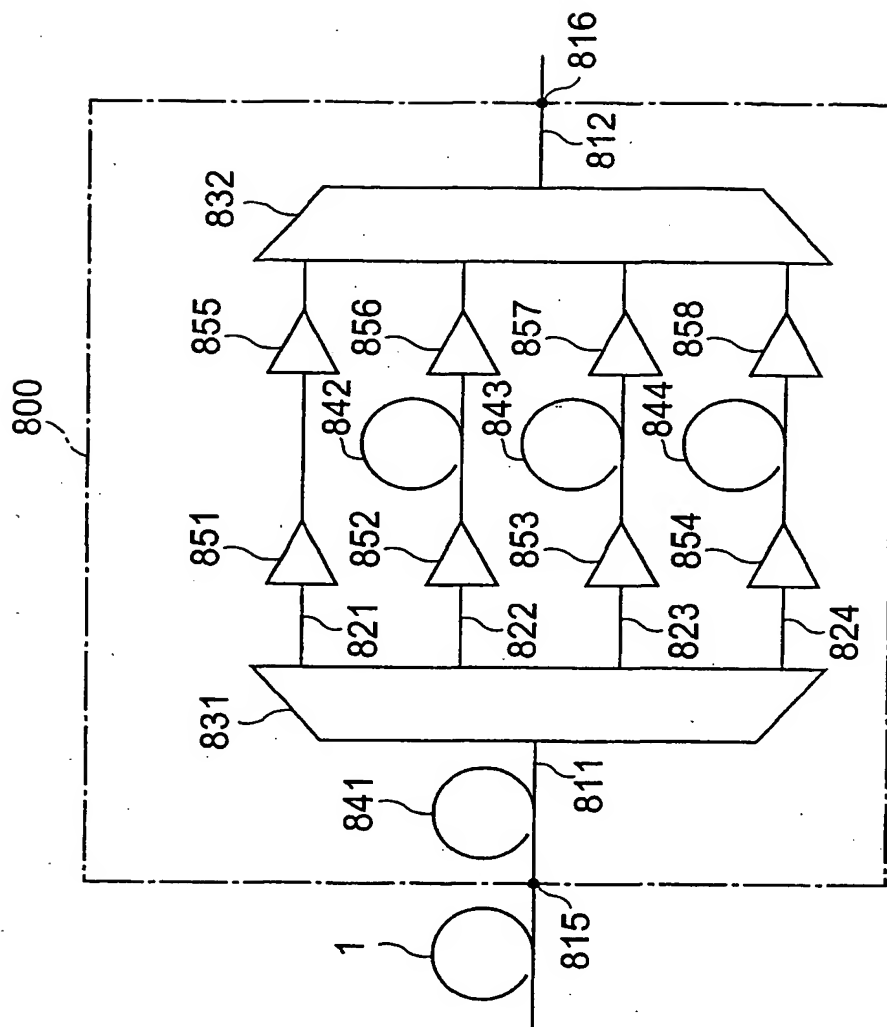


図18A

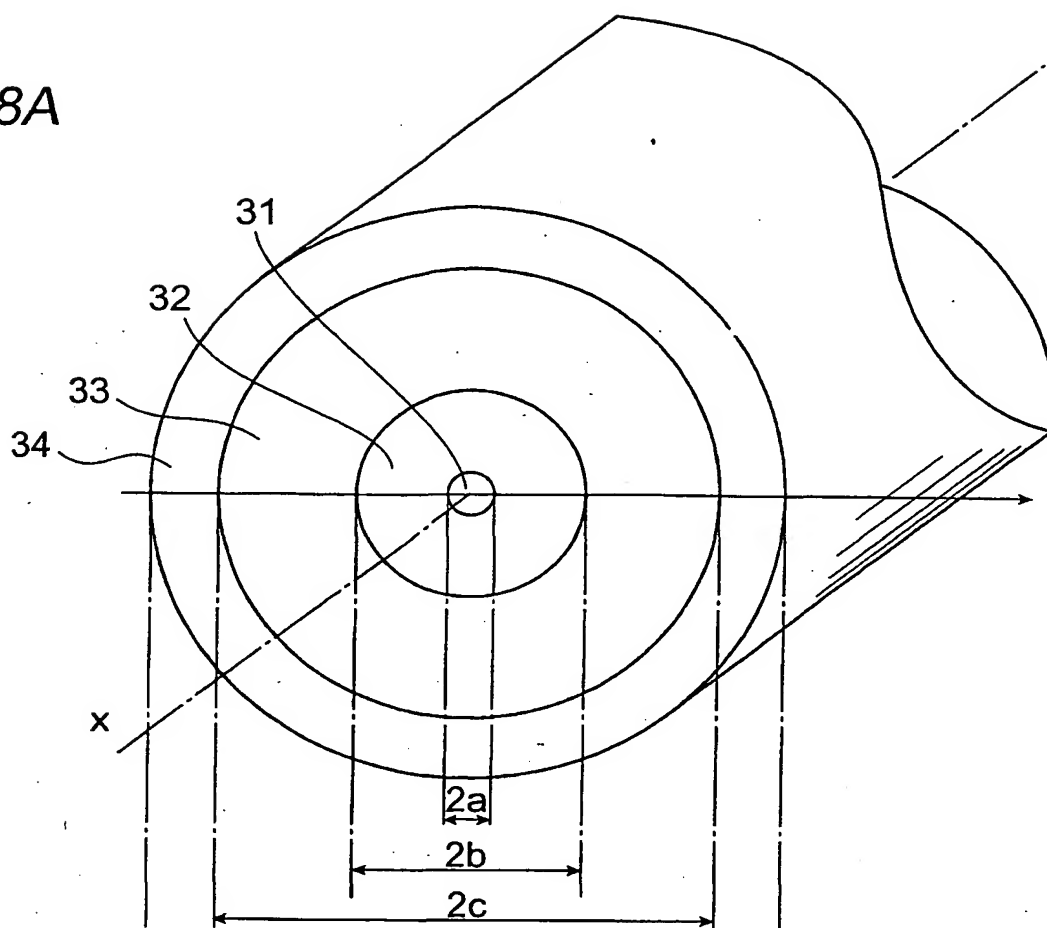


図18B

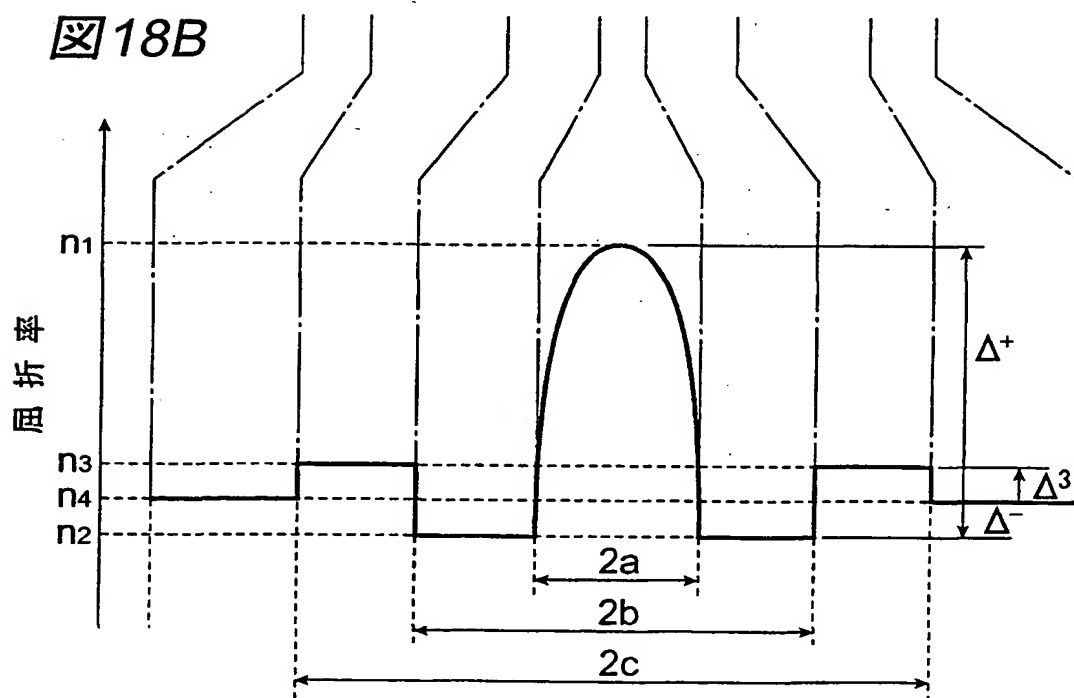
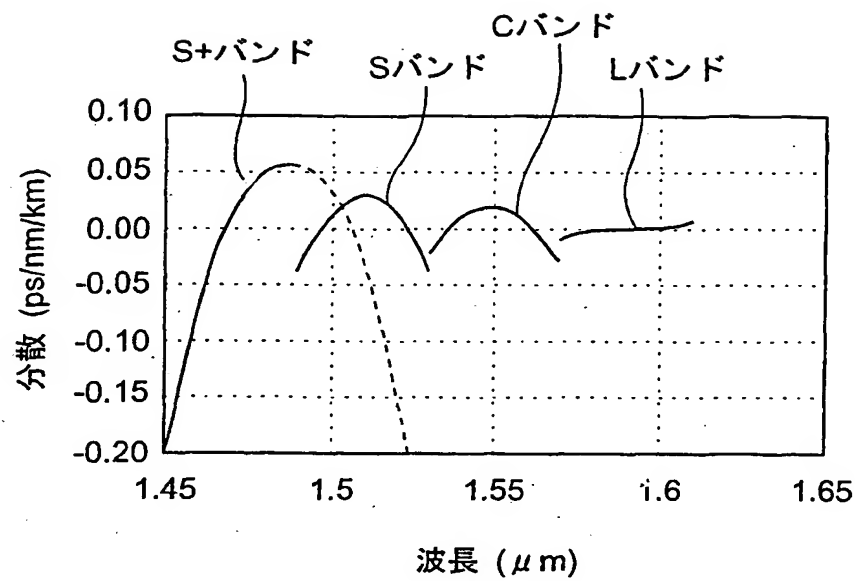


図19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/04847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H04B10/18
H04J14/02
G02B 6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H04B10/00-10/28
H04J14/00-14/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 10-276172, A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 13 October, 1998 (13.10.98),	1-8,12-17
X	page 4, Column 5, line 33 to Column 6, line 5 & FR, 2761839, A	9-11,18-32
Y	JP, 7-107069, A (Fujitsu Limited), 21 April, 1995 (21.04.95),	1-8,12-19
X	page 19, Column 36, line 24 to page 20, Column 38, line 8 & US, 5602666, A	9-11,18-32
Y	JP, 10-242943, A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 11 September, 1998 (11.09.98),	1-8,12-19
X	page 4, Column 5, line 50 to Column 6, line 21 (Family: none)	9-11,18-32
Y	JP, 8-234255, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 13 September, 1996 (13.09.96),	1-8,12-19
X	page 4, Column 5, lines 1 to 30 (Family: none)	9-11,18-32
Y	JP, 10-170752, A (NEC Corporation), 26 June, 1998 (26.06.98),	1-8,12-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
17 October, 2000 (17.10.00)

Date of mailing of the international search report
31 October, 2000 (31.10.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

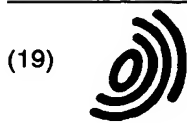
PCT/JP00/04847

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	page 4, Column 5, line 17 to Column 6, line 15 (Family: none)	9-11,18-32
Y	JP, 9-23187, A (Fujitsu Limited), 21 January, 1997 (21.01.97), page 5, Column 8, line 43 to page 7, Column 11, line 25 (Family: none)	1-8
Y	JP, 11-121840, A (Samsung Electron Co., Ltd.), 30 April, 1999 (30.04.99), page 3, Column 4, line 18 to page 4, Column 5, line 15 & CN, 1213201, A	7-8,12-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H04B10/18 H04J14/02 G02B 6/00		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H04B10/00-10/28 H04J14/00-14/08		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2000年 日本国登録実用新案公報 1994-2000年 日本国実用新案登録公報 1996-2000年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 10-276172, A (国際電信電話株式会社) 13. 10月. 1998 (13. 10. 98)	1-8, 12-17
X	第4頁5欄第33行~6欄第5行 & FR, 2761839, A	9-11, 18-32
Y	JP, 7-107069, A (富士通株式会社) 21. 4月. 1995 (21. 04. 95)	1-8, 12-19
X	第19頁36欄第24行~第20頁38欄第8行 & US, 5602666, A	9-11, 18-32
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリ 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 17. 10. 00	国際調査報告の発送日 31.10.00	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 鈴木 重幸 電話番号 03-3581-1101 内線 3534	5 J 9653

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 10-242943, A (国際電信電話株式会社) 11. 9月. 1998 (11. 09. 98)	1-8, 12-19
X	第4頁5欄第50行~6欄第21行 (ファミリーなし)	9-11, 18-32
Y	J P, 8-234255, A (日本電信電話株式会社) 13. 9月. 1996 (13. 09. 96)	1-8, 12-19
X	第4頁5欄第1行~第30行 (ファミリーなし)	9-11, 18-32
Y	J P, 10-170752, A (日本電気株式会社) 26. 6月. 1998 (26. 06. 98)	1-8, 12-17
X	第4頁5欄第17行~6欄第15行 (ファミリーなし)	9-11, 18-32
Y	J P, 9-23187, A (富士通株式会社) 21. 1月. 1997 (21. 01. 97) 第5頁8欄第43行~第7頁11欄第25行 (ファミリーなし)	1-8
Y	J P, 11-121840, A (三星電子株式会社) 30. 4月. 1999 (30. 04. 99) 第3頁4欄第18行~第4頁5欄第15行 & CN, 1213201, A	7-8, 12-13



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 202 479 A1**

(12)

EUROPEAN PATENT APPLICATION
published in accordance with Art. 158(3) EPC

(43) Date of publication:
02.05.2002 Bulletin 2002/18

(51) Int Cl.7: **H04B 10/18**, **H04J 14/02**,
G02B 6/00

(21) Application number: **00946407.4**

(86) International application number:
PCT/JP00/04847

(22) Date of filing: **19.07.2000**

(87) International publication number:
WO 01/06682 (25.01.2001 Gazette 2001/04)

(84) Designated Contracting States:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

- **SASAOKA, Eisuke, Yokohama Works
Yokohama-shi, Kanagawa 244-8588 (JP)**
- **OKUNO, Toshiaki, Yokohama Works
Yokohama-shi, Kanagawa 244-8588 (JP)**

(30) Priority: **19.07.1999 JP 20500699**
02.12.1999 JP 34347999

(71) Applicant: **Sumitomo Electric Industries, Ltd.**
Osaka-shi, Osaka 541-0041 (JP)

(74) Representative: **Grünecker, Kinkeldey,
Stockmair & Schwanhäusser Anwaltssozietät
Maximilianstrasse 58
80538 München (DE)**

(72) Inventors:
• **TSUKITANI, Masao, Yokohama Works
Yokohama-shi, Kanagawa 244-8588 (JP)**

(54) DISPERSION COMPENSATION SYSTEM

(57) In the dispersion-compensating system of the present invention, a demultiplexer demultiplexes optical signals in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm propagating through a first common transmission line into C band (1520 nm to 1565 nm) and L band (1565 nm to 1620 nm). Then, the demultiplexer outputs the optical signals of C band into a first branched transmission line and the optical signals of L band into a second branched transmission line. A first dispersion-compensating device is provided on the first common transmission line and compensates for the dispersion in C and L bands. A second dispersion-compensating device is provided on the second branched transmission line and compensates for the dispersion in L band, which has not fully been compensated for by the first dispersion-compensating device. Hence, the dispersion of optical transmission line can fully be reduced in a wide signal light wavelength band.

Fig.1

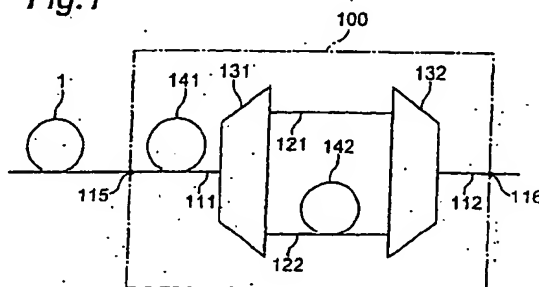
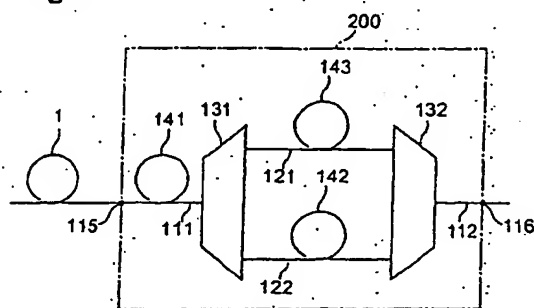


Fig.2



EP 1 202 479 A1

Description

Technical Field

[0001] The present invention relates to a dispersion-compensating system which compensates for dispersion in a wide signal wavelength band.

Background Art

[0002] An optical transmission system employing a WDM (Wavelength Division Multiplexing) scheme transmits a multitude of wavelengths of optical signals in a 1.55- μ m wavelength band by way of an optical fiber transmission line network and can carry out large-capacity, high-speed communications. This optical transmission system comprises not only an optical fiber transmission line which is a transmission medium for the optical signals, but also an optical amplifier for collectively amplifying the multitude of wavelengths of optical signals, and the like. In order to enable further larger-capacity/higher-speed communications in such WDM communications, various kinds of research and development have been under way.

[0003] As for the optical transmission line, reducing its dispersion and dispersion slope has been an important subject for study. Namely, if the optical transmission line has a dispersion in the wavelength band of optical signals, then their waveforms may be deformed to cause reception degradation when they reach a receiving station by way of the optical transmission line after being sent out from a transmitting station, since each optical signal has a certain bandwidth even though it is considered monochromatic. Therefore, it is desirable that the dispersion of optical transmission line be as small as possible in the signal wavelength band. Also, for larger-capacity communications, it is desirable that the dispersion of the optical transmission line be smaller in a signal wavelength band which is as wide as possible, whereby it is desirable that the dispersion slope of the optical transmission line be as small as possible.

[0004] Hence, a dispersion-compensating optical fiber has been connected to a single-mode optical fiber which is usually used for the optical transmission line, so as to reduce the dispersion of the whole optical transmission line. Namely, while the single-mode optical fiber has a positive dispersion in the 1.55- μ m wavelength band, the dispersion-compensating optical fiber has a negative dispersion in this wavelength band, whereby an optical transmission line in which the single-mode optical fiber and the dispersion-compensating optical fiber are connected to each other at an appropriate length ratio reduces its dispersion as a whole.

[0005] On the other hand, since optical fiber amplifiers which can amplify optical signals in a 1.58- μ m wavelength band have been developed, it has been contemplated carrying out optical communications with a further larger capacity by using not only optical signals in

the 1.55- μ m wavelength band (C band; 1520 nm to 1565 nm) but also those in the 1.58- μ m wavelength band (L band; 1565 nm to 1620 nm).

5 Disclosure of the Invention

[0006] The inventors have studied the above-mentioned background art and, as a result, have found the following problems. Namely, if the dispersion-compensating optical fiber is connected to the single-mode optical fiber in a signal wavelength band including both C and L bands, then the dispersion of the optical transmission line can be reduced to a certain extent. However, it is difficult to fully reduce dispersion in a wide range of the signal wavelength band including both C and L bands.

[0007] On the other hand, for enhancing the transmission capacity, it is effective to broaden the signal wavelength band. To this aim, it is necessary to sufficiently reduce dispersion in a wider signal wavelength band, for example, including S band (1490 nm to 1520 nm) and S+ band (1450 nm to 1490 nm) in addition to C and L bands as the signal wavelength band.

[0008] For overcoming the problems mentioned above, it is an object of the present invention to provide a dispersion-compensating system which can fully reduce dispersion in a wide signal wavelength band.

[0009] A dispersion-compensating system in accordance with the present invention is a dispersion-compensating system for a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, the system comprising: (1) a first common transmission line through which light in the signal wavelength band propagates; (2) first and second branched transmission lines branching off from the first common transmission line; (3) a demultiplexer, provided between the first common transmission line and the first and second branched transmission lines, for demultiplexing light in the signal wavelength band propagating through the first common transmission line into first and second wavelength bands, and outputting light in the first wavelength band into the first branched transmission line and light in the second wavelength band into the second branched transmission line; (4) a first dispersion-compensating device, provided on the first common transmission line, for compensating for at least a dispersion in the first wavelength band; and (5) a second dispersion-compensating device, provided on the second branched transmission line, for compensating for at least a dispersion in the second wavelength band.

[0010] According to this dispersion-compensating system, the dispersion of at least the first wavelength band in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm is compensated for by the first dispersion-compensating device provided on the first common transmission line. Then, light in the first wavelength band is separated by the demultiplexer, so as to be transmitted to the first branched transmission line. On the other hand, light in the second wavelength band is separated by the demul-

plexer, so as to be transmitted to the second branched transmission line. Hence, even when the dispersion in the second wavelength band is not sufficiently compensated for by the first dispersion-compensating device, it is further compensated for by the second dispersion-compensating device provided on the second branched transmission line.

[0011] In this dispersion-compensating system, the first dispersion-compensating device may compensate for the dispersion in the first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, and the first and second dispersion-compensating devices may compensate for the dispersion in the second wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, dispersion is fully compensated for in both of the first and second wavelength bands.

[0012] This dispersion-compensating system may further comprise a third dispersion-compensating device provided on the first branched transmission line, the first and third dispersion-compensating devices compensating for the dispersion in the first wavelength band. As a consequence, even when the dispersion in the first wavelength band has not yet fully been compensated for by the first dispersion-compensating device, it is further compensated for by the third dispersion-compensating device, provided on the first branched transmission line, after the first wavelength band is separated by the demultiplexer, whereby the dispersion is compensated for more adequately.

[0013] In this dispersion-compensating system, the first and third dispersion-compensating devices may compensate for the dispersion in the first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, whereas the first and second dispersion-compensating devices may compensate for the dispersion in the second wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, the dispersion in the first wavelength band is fully compensated for by the first and third dispersion-compensating devices.

[0014] In this dispersion-compensating system, the first dispersion compensating device provided on the first common line preferably has a dispersion slope compensating ratio of 60 to 150%, more preferably, 85 to 135% at wavelength of $1.55\mu\text{m}$.

[0015] A dispersion-compensating system in accordance with the present invention is a dispersion-compensating system for a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, the system comprising: (1) a first common transmission line through which light in the signal wavelength band propagates; (2) first and second branched transmission lines branching off from the first common transmission line; (3) a demultiplexer, provided between the first common transmission line and the first and second branched transmission lines, for demultiplexing

light in the signal wavelength band propagating through the first common transmission line into first and second wavelength bands, and outputting light in the first wavelength band into the first branched transmission line and light in the second wavelength band into the second branched transmission line; (4) a first dispersion-compensating device, provided on the first branched transmission line, for compensating for a dispersion in the first wavelength band; and (5) a second dispersion-compensating device, provided on the second branched transmission line, for compensating for a dispersion in the second wavelength band.

[0016] According to this dispersion-compensating system, the first and second wavelength bands in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm are separated by the demultiplexer, and light in the first wavelength band is outputted to the first branched transmission line, whereas light in the second wavelength band is outputted to the second branched transmission line. Then, the dispersion in the first wavelength band is compensated for by the first dispersion-compensating device provided on the first branched transmission line, and the dispersion in the second wavelength band is compensated for by the second dispersion-compensating device provided on the second branched transmission line.

[0017] In this dispersion-compensating system, the first dispersion-compensating device may compensate for the dispersion in the first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, whereas the second dispersion-compensating device may compensate for the dispersion in the second wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, dispersion is fully compensated for in both of the first and second wavelength bands.

[0018] The dispersion-compensating system may further comprise a multiplexer for multiplexing light in the first wavelength band propagating through the first branched transmission line and light in the second wavelength band propagating through the second branched transmission line. As a consequence, light in the first and second wavelength bands is multiplexed by the multiplexer. This configuration is suitably used in a repeater station. Receiving stations are not required to comprise such a multiplexer.

[0019] The dispersion-compensating system may further comprise a first optical amplifier, provided on the first branched transmission line, for amplifying light in the first wavelength band; and a second optical amplifier, provided on the second branched transmission line, for amplifying light in the second wavelength band. As a consequence, light in the first wavelength band is amplified by the first optical amplifier provided on the first branched transmission line, whereas light in the second wavelength band is amplified by the second optical amplifier provided on the second branched transmission

line. Here, the first and second optical amplifiers may include a Raman amplifier.

[0020] It is preferred that the above-mentioned first to third dispersion-compensating devices each have the form of an optical fiber, whereas not only a dispersion-compensating optical fiber but also one known as a dispersion-shifted optical fiber can favorably be used. These optical fibers as a dispersion-compensating device may be laid as an optical transmission line or be formed into a module as being wound like a coil.

[0021] Though the first and second wavelength bands may be such that one of them is in the C band (1520 nm to 1565 nm) whereas the other is in the L band (1565 nm to 1620 nm), they are not restricted thereto. For example, there may be a case where one of them ranges from 1490 nm to 1520 nm, whereas the other ranges from 1520 nm to 1565 nm.

[0022] A dispersion-compensating system in accordance with the present invention comprises: (1) N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N ($N \geq 2$) successively provided on a main transmission line between an input end and an output end; and (2) a demultiplexer DIV_n ($2 \leq n \leq N$), provided between dispersion-compensating devices DC_{n-1} and DC_n in the N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N , for demultiplexing an optical signal outputted from the dispersion-compensating device DC_{n-1} , outputting an optical signal in thus demultiplexed one wavelength band to the dispersion-compensating device DC_n , and outputting an optical signal in the other wavelength band to a branched transmission line P_n . Also, a dispersion of the wavelength band demultiplexed by the demultiplexer so as to be outputted to the branched transmission line P_n is compensated for by the dispersion-compensating devices DC_1 to DC_{n-1} ($2 \leq n \leq N$) in the N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N .

[0023] According to this dispersion-compensating system, of the signal light fed to the input end, the optical signal in the wavelength band demultiplexed by the demultiplexer DIV_n so as to be outputted to the branched transmission line P_n has its dispersion compensated for by the dispersion-compensating devices DC_1 to DC_{n-1} ($2 \leq n \leq N$) by way of which it has reached the demultiplexer DIV_n . The amount of dispersion compensation depends on the wavelength of optical signal.

[0024] This dispersion-compensating system may further comprise a demultiplexer DIV_1 , provided in front of the first-stage dispersion-compensating device DC_1 in the N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N , for demultiplexing the optical signal fed to the input end, outputting an optical signal in thus demultiplexed one wavelength band to the dispersion-compensating device DC_1 , and outputting an optical signal in the other wavelength band to a branched transmission line P_1 . As a consequence, among the optical signals fed to the input end, the optical signal in the wavelength band demultiplexed by the demultiplexer DIV_1 so as to be outputted to the branched transmission line P_1 would not

have its dispersion compensated for by any of the dispersion-compensating devices.

[0025] This dispersion-compensating system may further comprise a multiplexing section for inputting therein an optical signal outputted from the last-stage dispersion-compensating device DC_N in the N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N and an optical signal outputted to the branched transmission line P_n from the demultiplexer DIV_n ($2 \leq n \leq N$) (and further inputting therein an optical signal outputted from the demultiplexer DIV_1 to the branched transmission line P_1), multiplexing these optical signals, and outputting thus multiplexed optical signals. As a consequence, each optical signal is compensated for by a necessary amount of dispersion compensation and then is multiplexed by and outputted from the multiplexer. This is suitably used in a repeater station.

[0026] In the above-mentioned dispersion-compensating system, it is preferred that the N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N each have the form of an optical fiber, whereas not only a dispersion-compensating optical fiber but also one known as a dispersion-shifted optical fiber can usually be used for dispersion compensation. These optical fibers as a dispersion-compensating device may be laid as an optical transmission line or be formed into a module as being wound like a coil. If the dispersion-compensating devices are optical fibers, then each of them is excellent in the degree of freedom in setting the amount of dispersion, whereby each can take a broad wavelength band to be subjected to dispersion compensation. It is preferred that the N demultiplexers DIV_1 to DIV_n each use a WDM coupler. In this case a desirable wavelength band can be demultiplexed at a low cost in a simple manner.

[0027] A dispersion-compensating system in accordance with the present invention demultiplexes an optical signal inputted by way of a common transmission line into a plurality of wavelength bands and comprises a plurality of dispersion-compensating devices for compensating for respective dispersions in thus demultiplexed wavelength bands. Preferably, in this case, each of the demultiplexed wavelength bands has a wavelength band of at least 20 nm. Also, it is preferred that the number of wavelength bands to be demultiplexed is at least 2 but not greater than 5.

[0028] According to this dispersion-compensating system, the optical signal inputted by way of the common transmission line is demultiplexed into a plurality of wavelength bands, and the respective dispersions in the demultiplexed wavelength bands are individually compensated for by a plurality of dispersion-compensating devices corresponding to the respective wavelength bands.

[0029] It is preferred in this dispersion-compensating system that the wavelength bands to be demultiplexed are S+ band, S band, C band, and L band. In this case, since the optical amplifiers have their respective suitable wavelength bands for optical amplification, the opti-

cal signal can efficiently be amplified if it is demultiplexed into the above-mentioned wavelength bands.

[0030] Preferably, this dispersion-compensating system has a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm. As a consequence, transmission over a distance of 2000 km is possible by use of an optical signal at 10 Gbits/s in C and L bands. If the signal wavelength band is 1490 nm to 1620 nm, then it expands to S band in addition to C and L bands. If the signal wavelength band is 1450 nm to 1620 nm, then it expands to S+ band in addition to C, L, and S bands.

[0031] If the dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of an optical signal at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.1 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 10000 km is possible by use of an optical signal at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.05 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of an optical signal at 20 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.025 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 10000 km is possible by use of an optical signal at 20 Gbits/s.

[0032] Preferably, in this dispersion-compensating system, the dispersion-compensating devices for compensating for the respective dispersions in the demultiplexed wavelength bands have a module form. As a consequence, the space for installation is reduced, and the cost of installation is cut down.

[0033] The present invention will become more fully understood from the detailed description given hereinbelow and the accompanying drawings. They are given by way of illustration only, and thus should not be considered limitative of the present invention.

Brief Description of the Drawings

[0034]

Fig. 1 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a first embodiment;

Fig. 2 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a second embodiment;

Fig. 3 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a third embodiment;

Fig. 4 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a fourth embodiment;

Fig. 5A is a view schematically showing the structure of a dispersion-compensating optical fiber;

Fig. 5B is a chart showing the refractive index profile of the dispersion-compensating optical fiber;

Fig. 6A is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of a single-mode optical

fiber connected to the dispersion-compensating system in accordance with the first embodiment;

Fig. 6B is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device in the dispersion-compensating system in accordance with the first embodiment;

Fig. 6C is a graph showing a specific example of dispersion characteristic in the case where the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 6A and the first dispersion-compensating device having the dispersion characteristic shown in Fig. 6B are connected to each other at a predetermined ratio;

Fig. 6D is a graph showing a specific example of total dispersion characteristic in the case where the dispersion-compensating system (a dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device η is 100% at a wavelength of 1.55 μm) in accordance with the first embodiment is connected to the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 6A;

Fig. 7A is a view schematically showing the structure of a dispersion-sifted optical fiber;

Fig. 7B is a chart showing the refractive index profile of the dispersion-shifted optical fiber;

Fig. 8A is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of a single-mode optical fiber connected to the dispersion-compensating system in accordance with the first embodiment;

Fig. 8B is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device in the dispersion-compensating system in accordance with the first embodiment;

Fig. 8C is a graph showing a specific example of dispersion characteristic in the case where the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 8A and the first dispersion-compensating device having the dispersion characteristic shown in Fig. 8B are connected to each other at a predetermined ratio;

Fig. 8D is a graph showing a specific example of total dispersion characteristic in the case where the dispersion-compensating system (a dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device η is 70% at a wavelength of 1.55 μm) in accordance with the first embodiment is connected to the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 8A;

Fig. 9A is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of a single-mode optical fiber connected to the dispersion-compensating system in accordance with the second embodiment;

Fig. 9B is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device in the dispersion-compensating system in accordance with the second embodiment;

Fig. 9C is a graph showing a specific example of dispersion characteristic in the case where the sin-

gle-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 9A and the first dispersion-compensating device having the dispersion characteristic shown in Fig. 9B are connected to each other at a predetermined ratio;

Fig. 9D is a graph showing a specific example of total dispersion characteristic in the case where the dispersion-compensating system (a dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device η is 135% at a wavelength of 1.55 μm) in accordance with the second embodiment is connected to the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 9A;

Fig. 10A is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of a single-mode optical fiber connected to the dispersion-compensating system in accordance with the third embodiment;

Fig. 10B is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device in the dispersion-compensating system in accordance with the third embodiment;

Fig. 10C is a graph showing a specific example of dispersion characteristic of the second dispersion-compensating device in the dispersion-compensating system in accordance with the third embodiment;

Fig. 10D is a graph showing a specific example of total dispersion characteristic in the case where the dispersion-compensating system (a dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device η is 100% at a wavelength of 1.55 μm) in accordance with the third embodiment is connected to the single-mode optical fiber having the dispersion characteristic shown in Fig. 10A;

Fig. 11 is a graph showing the relationship between the dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device provided on the first common transmission line at the wavelength of 1.55 μm and the dispersion deviation in this dispersion compensating system;

Fig. 12 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a fifth embodiment;

Fig. 13A is a graph showing a specific example of accumulated dispersion amount of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 13B is a graph showing a specific example of accumulated dispersion amount at point A (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 13C is a graph showing a specific example of accumulated dispersion amount at point B (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 13D is a graph showing a specific example of accumulated dispersion amount at point C (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 14A is a graph showing a specific example of accumulated dispersion amount of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 14B is a graph showing another specific example of accumulated dispersion amount at point A (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 14C is a graph showing another specific example of accumulated dispersion amount at point B (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 14D is a graph showing another specific example of accumulated dispersion amount at point C (see Fig. 12) of optical signals fed to the dispersion-compensating system in accordance with the fifth embodiment;

Fig. 15 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a sixth embodiment;

Fig. 16 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with a seventh embodiment;

Fig. 17 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system in accordance with an eighth embodiment;

Fig. 18A is a view schematically showing the structure of a dispersion-compensating optical fiber;

Fig. 18B is a chart showing the refractive index profile of the dispersion-compensating optical fiber; and

Fig. 19 is a graph showing a specific example of total dispersion characteristics of the dispersion-compensating system in accordance with the eighth embodiment.

Best Modes for Carrying Out the Invention

[0035] In the following, preferred embodiments of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will be explained in detail with reference to the accompanying drawings. Here, constituents identical to each other will be referred to with numerals identical to each other, without repeating their overlapping explanations.

[0036] To begin with, a first embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will be explained. Fig. 1 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment. The dispersion-compensating system 100 comprises first and

second common transmission lines 111, 112; first and second branched transmission lines 121, 122; a demultiplexer 131; a multiplexer 132; and first and second dispersion-compensating devices 141, 142. The dispersion-compensating system 100 is connected to an external single-mode optical fiber 1 by way of an input end 115 which corresponds to one end of the first common transmission line 111. Therefore, optical signals propagating through the single-mode optical fiber 1 are fed into the dispersion-compensating system 100 from the input end 115.

[0037] The demultiplexer 131 is provided between the first common transmission line 111 and the first and second branched transmission lines 121, 122. The demultiplexer 131 demultiplexes the optical signals in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm propagating through the first common transmission line 111, into C band (1520 nm to 1565 nm) and L band (1565 nm to 1620 nm). Then, the demultiplexer 131 outputs the optical signals of C band into the first branched transmission line 121 and the optical signals of L band into the second branched transmission line 122.

[0038] The multiplexer 132 is provided between the second common transmission line 112 and the first and second branched transmission lines 121, 122. The multiplexer 132 multiplexes the optical signals of C band propagating through the first branched transmission line 121 and the optical signals of L band propagating through the second branched transmission line 122, and outputs thus multiplexed optical signals to the second common transmission line 112. The optical signals outputted from the multiplexer 132 so as to propagate through the second common transmission line 112 are outputted to the outside by way of an output end 116 which corresponds to one end of the second common transmission line 112.

[0039] Here, the first dispersion-compensating device 141 is provided on the first common transmission line 111. The first dispersion-compensating device 141 compensates for the dispersion in C and L bands. However, the first dispersion-compensating device 141 cannot fully compensate for the dispersion in L band. On the other hand, the second dispersion-compensating device 142 is provided on the second branched transmission line 122. As a consequence, the dispersion in L band, which has not fully been compensated for by the first dispersion-compensating device 141, is fully compensated for by the second dispersion-compensating device 142.

[0040] Preferably, in the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment, the first dispersion-compensating device 141 compensates for the dispersion in C band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, whereas the first and second dispersion-compensating devices 141, 142 compensate for the dispersion in L band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, dispersion can

fully be reduced over a wide range of the signal wavelength band including both C and L bands. Hence, optical communications with a large capacity, e.g., at 10 to 20 Gbit/s, can be carried out.

[0041] In the dispersion-compensating system 100, the first dispersion compensating device 141 provided on the first common line 111 preferably has a dispersion slope compensating ratio of 60 to 150%, more preferably, 85 to 135% at wavelength of 1.55 μ m. As a consequence, fluctuations in dispersion among wavelengths are suppressed. The dispersion slope compensating ratio will be explained later in detail.

[0042] In the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment, as in the foregoing, in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, the dispersion in C band is compensated for by the first dispersion-compensating device 141, whereas the dispersion in L band is compensated for by both of the first and second dispersion-compensating devices 141, 142. As a result, the dispersion of optical transmission line can fully be reduced over a wide signal wavelength band including both C and L bands.

[0043] A second embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 2 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 200 in accordance with the second embodiment. The dispersion-compensating system 200 further comprises a third dispersion-compensating device 143 on the first branched transmission line 121 in addition to the configuration of the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment.

[0044] In the dispersion-compensating system 200, as in the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment, the first dispersion-compensating device 141 is provided on the first common transmission line 111, so that the dispersion in C and L bands is compensated for by the first dispersion-compensating device 141. However, the first dispersion-compensating device 141 cannot fully compensate for the dispersion in L band. Hence, the second dispersion-compensating device 142 provided on the second branched transmission line 122 compensates for the dispersion in L band, which has not fully been compensated for by the first dispersion-compensating device 141.

[0045] Also, there are cases where not only the dispersion compensation in L band but also the dispersion compensation in C band has not yet been considered sufficient. Here, since the third dispersion-compensating device 143 is provided on the first branched transmission line 121, the dispersion in C band, which has not yet fully been compensated for by the first dispersion-compensating device 141, is compensated for by the third dispersion-compensating device 143 in the dispersion-compensating system 200 in accordance with the second embodiment.

[0046] Preferably, in the dispersion-compensating

system 200 in accordance with the second embodiment, the first and third dispersion-compensating devices 141, 143 compensate for the dispersion in C band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, and the first and second dispersion-compensating devices 141, 142 compensate for the dispersion in L band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, dispersion can fully be reduced over a wide range of the signal wavelength band including both C and L bands. Hence, optical communications with a large capacity, e.g., at 10 to 20 Gbit/s, can be carried out.

[0047] In the dispersion-compensating system 200, the first dispersion compensating device 141 provided on the first common line 111 preferably has a dispersion slope compensating ratio of 60 to 150%, more preferably, 85 to 135% at wavelength of 1.55 μ m. As a consequence, fluctuations in dispersion among wavelengths are suppressed. The dispersion slope compensating ratio will be explained later in detail.

[0048] In the dispersion-compensating system 200 in accordance with the second embodiment, as in the foregoing, in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, the dispersion in C band is compensated for by both of the first and third dispersion-compensating devices 141, 143, whereas the dispersion in L band is compensated for by both of the first and second dispersion-compensating devices 141, 142. As a result, the dispersion of optical transmission line can fully be reduced over a wide signal wavelength band including both C and L bands.

[0049] A third embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 3 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 300 in accordance with the third embodiment. The dispersion-compensating system 300 comprises first and second common transmission lines 311, 312; first and second branched transmission lines 321, 322; a demultiplexer 331; a multiplexer 332; and first and second dispersion-compensating devices 341, 342. The dispersion-compensating system 300 is connected to an external single-mode optical fiber 1 by way of an input end 315 which corresponds to one end of the first common transmission line 311. Therefore, optical signals propagating through the single-mode optical fiber 1 are fed into the dispersion-compensating system 300 from the input end 315.

[0050] The demultiplexer 331 is provided between the first common transmission line 311 and the first and second branched transmission lines 321, 322. The demultiplexer 331 demultiplexes the optical signals in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm propagating through the first common transmission line 311 into C band (1520 nm to 1565 nm) and L band (1565 nm to 1620 nm). Then, the demultiplexer 331 outputs the optical signals of C band into the first branched trans-

mission line 321 and the optical signals of L band into the second branched transmission line 322.

[0051] The multiplexer 332 is provided between the second common transmission line 312 and the first and second branched transmission lines 321, 322. The multiplexer 332 multiplexes the optical signals of C band propagating through the first branched transmission line 321 and the optical signals of L band propagating through the second branched transmission line 322, and outputs thus multiplexed optical signals to the second common transmission line 312. The optical signals outputted from the multiplexer 332 so as to propagate through the second common transmission line 312 are outputted to the outside by way of an output end 316 which corresponds to one end of the second common transmission line 312.

[0052] In the dispersion-compensating system 300, the first dispersion-compensating device 341 is provided on the first branched transmission line 321. The first dispersion-compensating device 341 compensates for the dispersion in C band. On the other hand, the second dispersion-compensating device 342 is provided on the second branched transmission line 322. The second dispersion-compensating device 342 compensates for the dispersion in L band.

[0053] Preferably, in the dispersion-compensating system 300 in accordance with the third embodiment, the first dispersion-compensating device 341 compensates for the dispersion in C band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less, and the second dispersion-compensating device 342 compensates for the dispersion in L band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, more preferably, ± 0.2 ps/nm/km or less. As a consequence, dispersion can fully be reduced over a wide signal wavelength band including both C and L bands. Hence, optical communications with a large capacity, e.g., at 10 to 20 Gbit/s, can be carried out.

[0054] In the dispersion-compensating system 300 in accordance with the third embodiment, as in the foregoing, in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, the dispersion in C band is compensated for by the first dispersion-compensating device 341, whereas the dispersion in L band is compensated for by the second dispersion-compensating devices 342. As a result, the dispersion of optical transmission line can fully be reduced over a wide signal wavelength band including both C and L bands.

[0055] A fourth embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 4 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 400 in accordance with the fourth embodiment. The dispersion-compensating system 400 further comprises optical amplifiers 151 to 154 in addition to the configuration of the dispersion-compensating system 200 in accordance with the second embodiment.

[0056] The optical amplifiers 151, 152 are provided on the first branched transmission line 121, and amplify the optical signals of C band. The optical amplifiers 153, 154 are provided on the second branched transmission line 122, and amplify the optical signals of L band. Here, it will be sufficient if an optical amplifier is provided on at least one of the input end side and output end side of each of the first and second branched transmission lines 121, 122. As the optical amplifier, a Raman amplifier such as one disclosed in "Crosstalk Bandwidth in Backward Pumped Fiber Raman Amplifiers" (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, NOVEMBER 1999, VOL. 11, NO. 11, pp. 1417-1449, Jun Shan Wey et al.), for example, can be used.

[0057] Thus, in the dispersion-compensating system 400 in accordance with the fourth embodiment, as for the C band in the signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, its dispersion is compensated for by both of the first and third dispersion-compensating device 141, 143, and its optical signals are amplified by the optical amplifiers 151, 153. As for the L band, on the other hand, its dispersion is compensated for by both of the first and second dispersion-compensating devices 141, 142, and its optical signals are amplified by the optical amplifiers 152, 154. As a result, over a wide range of signal wavelength band including both C and L bands, the dispersion of the optical transmission line can fully be reduced, and optical signals can be amplified. The dispersion-compensating system 400 in accordance with the fourth embodiment is suitably used in a repeater station.

[0058] In the following, the above-mentioned dispersion-compensating systems 100 to 300 in accordance with the first to third embodiments will be explained in further detail with reference to specific examples, and also a preferred range of dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of 1.55 μm will be explained.

[0059] Here, the dispersion slope compensating ratio η will be defined. The dispersion slope compensating ratio η is defined by the expression:

$$\eta = 100 \times (S_{DCF}/D_{DCF})/(S_{SMF}/D_{SMF})$$

Here, D_{SMF} is the dispersion value of the single-mode optical fiber 1 at a predetermined wavelength, whereas S_{SMF} is the dispersion slope of the single-mode optical fiber 1 at the predetermined wavelength. D_{DCF} is the dispersion value of a dispersion-compensating device (dispersion-compensating optical fiber) at the predetermined wavelength, whereas S_{DCF} is the dispersion slope of the dispersion-compensating device (dispersion-compensating optical fiber) at the predetermined wavelength. The dispersion slope compensating ratio η indicates the degree of compensation of the dispersion slope at a predetermined wavelength when the disper-

sion is compensated for by 100% at this predetermined wavelength.

[0060] To begin with, a specific example of the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment will be shown.

[0061] Employed as the single-mode optical fiber 1 is one comprising a core made of pure silica and claddings made of silica doped with F element, while having a zero-dispersion wavelength near a wavelength of 1.3 μm . This single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength 1.55 μm , a dispersion of 18.8 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.057 ps/nm²/km. Fig. 6A shows the dispersion characteristic of the single-mode optical fiber 1. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 6A, the single-mode optical fiber 1 has a positive dispersion and a positive dispersion slope.

[0062] As the first dispersion-compensating device 141, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is used. In the first dispersion-compensating device 141, a core 31 has a diameter 2a of 3.93 μm , a first cladding 32 has an outside diameter 2b of 6.78 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to a second cladding 33 is 1.4%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is -0.6%. Also, the first dispersion-compensating device 141 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of -73.98 ps/nm/km and a dispersion slope of -0.209 ps/nm²/km. Fig. 6B shows the dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device 141. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 6B, the first dispersion-compensating device 141 has a negative dispersion with a large absolute value and a negative dispersion slope.

[0063] Fig. 6C shows the total dispersion characteristic in the case where such single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other at a length ratio of 0.8:0.2. As can be seen from Fig. 6C, the dispersion in C band is sufficiently compensated for, but the dispersion in L band is not sufficiently compensated for. Therefore, the C and L bands are separated by the demultiplexer 131, and the dispersion in L band is further compensated for by the second dispersion-compensating device 142.

[0064] As the second dispersion-compensating device 142, a dispersion-shifted optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 7A, 7B is used. In the second dispersion-compensating device 142, a core 41 has a diameter 2a of 3.31 μm , a first cladding 42 has an outside diameter 2b of 18.40 μm , the relative refractive index difference Δ_1 of the core 41 with respect to a second cladding 43 is 1.10%, and the relative refractive index difference Δ_2 of the first cladding 42 with respect to the second cladding 43 is 0.14%. Also the second dispersion-compensating device 142 has a zero-dispersion wavelength of 1573 nm, whereas its dispersion slope is 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μm .

[0065] To an optical fiber in which the above-men-

tioned single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other at the above-mentioned ratio, the second dispersion-compensating device 142 is connected at a ratio of 56.8 m per 1 km of the former optical fiber.

[0066] A broken line in Fig. 6D shows the dispersion characteristic obtained when the dispersion in L band is further compensated for by the second dispersion-compensating device 142. As can be seen from Fig. 6D, the dispersion compensation in L band also becomes sufficient.

[0067] In this specific example, the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 at a wavelength of 1.55 μm is 100%, whereby the dispersion slope is compensated for by 100% at a wavelength of 1.55 μm .

[0068] Another specific example of the dispersion-compensating system 100 in accordance with the first embodiment will now be explained.

[0069] Employed as the single-mode optical fiber 1 is one comprising a core made of pure silica and claddings made of silica doped with F element, while having a zero-dispersion wavelength near a wavelength of 1.3 μm . The single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of 18.8 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.057 ps/nm²/km. Fig. 8A shows the dispersion characteristic of the single-mode optical fiber 1. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 8A, the single-mode optical fiber 1 has a positive dispersion and a positive dispersion slope.

[0070] As the first dispersion-compensating device 141, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is used. In the first dispersion-compensating device 141, the core 31 has a diameter 2a of 3.30 μm , the first cladding 32 has an outside diameter 2b of 8.24 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to the second cladding 33 is 1.70%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is -0.36%. Also, the first dispersion-compensating device 141 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of -68.17 ps/nm/km and a dispersion slope of -0.144 ps/nm²/km. Fig. 7B shows the dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device 141. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 8B, the first dispersion-compensating device 141 has a negative dispersion with a large absolute value and a negative dispersion slope.

[0071] Fig. 8C shows the total dispersion characteristic in the case where such single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other at a length ratio of 0.786:0.214. As can be seen from Fig. 8C, though the dispersion compensation is insufficient in both C and L bands, the dispersion in L band can be compensated for, while the dispersion in C band is hard to compensate for. Therefore, the C and L bands are separated by the demultiplexer 131, and the dispersion in L band is further compensat-

ed for by the second dispersion-compensating device 142.

[0072] As the second dispersion-compensating device 142, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is used. In the second dispersion-compensating device 142, the core 31 has a diameter 2a of 4.41 μm , the first cladding 32 has an outside diameter 2b of 9.80 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to the second cladding 33 is 1.35%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is -0.50%. The second dispersion-compensating device 142 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of -39.9 ps/nm/km and a dispersion slope of -0.209 ps/nm²/km.

[0073] To an optical fiber in which the above-mentioned single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other at the above-mentioned ratio, the second dispersion-compensating device 142 is connected at a ratio of 12.6 m per 1 km of the former optical fiber. A broken line in Fig. 8D shows the dispersion characteristic obtained when the dispersion in L band is further compensated for by the second dispersion-compensating device 142. As can be seen from Fig. 8D, the dispersion compensation in L band becomes sufficient.

[0074] In this specific example, the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 at a wavelength of 1.55 μm is 70%, whereby the dispersion slope is not fully compensated for at a wavelength of 1.55 μm .

[0075] A specific example of the dispersion-compensating system 200 in accordance with the second embodiment will now be explained.

[0076] Employed as the single-mode optical fiber 1 is one comprising a core made of pure silica and claddings made of silica doped with F element, while having a zero-dispersion wavelength near a wavelength of 1.3 μm . The single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of 18.8 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.057 ps/nm²/km. Fig. 9A shows the dispersion characteristic of the single-mode optical fiber 1. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 9A, the single-mode optical fiber 1 has a positive dispersion and a positive dispersion slope.

[0077] As the first dispersion-compensating device 141, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is used. In the first dispersion-compensating device 141, the core 31 has a diameter 2a of 3.16 μm , the first cladding 32 has an outside diameter 2b of 10.20 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to the second cladding 33 is 1.70%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is -0.36%. Also, the first dispersion-compensating device 141 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of -74.2 ps/nm/km and a dispersion slope of -0.316 ps/nm²/km. Fig. 8B

shows the dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device 141. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 9 B, the first dispersion-compensating device 141 has a negative dispersion with a large absolute value and a negative dispersion slope.

[0078] Fig. 9 C shows the total dispersion characteristic in the case where such single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other at a length ratio of 0.798:0.202. As can be seen from Fig. 9 C, the dispersion compensation in L band is insufficient, and the dispersion compensation in C band is not considered sufficient. Therefore, the C and L bands are separated by the demultiplexer 131, and the dispersion in L band is further compensated for by the second dispersion-compensating device 142, whereas the dispersion in C band is further compensated for by the third dispersion-compensating device 143.

[0079] As the second and third dispersion-compensating device 142, 143, a dispersion-shifted optical fibers having the refractive index profile shown in Figs. 7A, 7B are used.

[0080] In the second dispersion-compensating device 142, a core 41 has a diameter 2a of 3.28 μm , a first cladding 42 has an outside diameter 2b of 18.2 μm , the relative refractive index difference Δ_1 of the core 41 with respect to a second cladding 43 is 1.10%, and the relative refractive index difference Δ_2 of the first cladding 42 with respect to the second cladding 43 is 0.14%. Also the second dispersion-compensating device 142 has a zero-dispersion wavelength of 1568 nm, whereas its dispersion slope is 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μm . To an optical fiber in which the above-mentioned single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other, the second dispersion-compensating device 142 is connected at a ratio of 660 m per 1 km of the former optical fiber.

[0081] In the third dispersion-compensating device 143, a core 41 has a diameter 2a of 3.17 μm , a first cladding 42 has an outside diameter 2b of 17.6 μm , the relative refractive index difference Δ_1 of the core 41 with respect to a second cladding 43 is 1.10%, and the relative refractive index difference Δ_2 of the first cladding 42 with respect to the second cladding 43 is 0.14%. Also the third dispersion-compensating device 143 has a zero-dispersion wavelength of 1545 nm, whereas its dispersion slope is 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μm . To the optical fiber in which the above-mentioned single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 141 are connected to each other, the third dispersion-compensating device 143 is connected at a ratio of 54 m per 1 km of the former optical fiber.

[0082] In Fig. 9D, a broken line indicates the dispersion characteristic obtained when the dispersion in L band is further compensated for by the second dispersion-compensating device 142, whereas a solid line indicates the dispersion characteristic obtained when the

dispersion in C band is further compensated for by the third dispersion-compensating device 143. As can be seen from Fig. 9D, dispersion is sufficiently compensated for in both C and L bands.

[0083] In this specific example, the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 at a wavelength of 1.55 μm is 135%, whereby the first and third dispersion-compensating devices 141, 143 compensate for the dispersion slope at a wavelength of 1.55 μm in excess.

[0084] A specific example of the dispersion-compensating system 300 in accordance with the third embodiment will now be explained.

[0085] Employed as the single-mode optical fiber 1 is one comprising a core made of pure silica and claddings made of silica doped with F element, while having a zero-dispersion wavelength near a wavelength of 1.3 μm . The single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of 18.8 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.057 ps/nm²/km. Also, this single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength of 1.58 μm , a dispersion of 20.8 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.057 ps/nm²/km. Fig. 10A shows the dispersion characteristic of the single-mode optical fiber 1. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 10A, the single-mode optical fiber 1 has a positive dispersion and a positive dispersion slope.

[0086] As the first dispersion-compensating device 341, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is used. In the first dispersion-compensating device 341, the core 31 has a diameter 2a of 4.60 μm , the first cladding 32 has an outside diameter 2b of 7.09 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to the second cladding 33 is 1.4%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is - 0.7%. Also, the first dispersion-compensating device 341 has, at a wavelength of 1.55 μm , a dispersion of - 53.20 ps/nm/km and a dispersion slope of - 0.162 ps/nm²/km. Fig. 10B shows the dispersion characteristic of the first dispersion-compensating device 341. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 10B, the first dispersion-compensating device 341 has a negative dispersion with a large absolute value and a negative dispersion slope.

[0087] As the second dispersion-compensating device 342, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 5A, 5B is also used. In the second dispersion-compensating device 342, the core 31 has a diameter 2a of 4.75 μm , the first cladding 32 has an outside diameter 2b of 7.20 μm , the relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to the second cladding 33 is 1.4%, and the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the second cladding 33 is - 0.7%. Also, the second dispersion-compensating device 342 has, at a wavelength of 1.58 μm , a dispersion of - 44.44 ps/nm/

km and a dispersion slope of $-0.122 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$. Fig. 10C shows the dispersion characteristic of the second dispersion-compensating device 342. In the signal wavelength band, as shown in Fig. 10C, the second dispersion-compensating device 342. has a negative dispersion with a large absolute value and a negative dispersion slope.

[0088] A solid line in Fig. 10D shows the total dispersion characteristic obtained when such single-mode optical fiber 1 and first dispersion-compensating device 341 are connected to each other at a length ratio of 1:0.35. On the other hand, a broken line in Fig. 10D shows the total dispersion characteristic obtained when such single-mode optical fiber 1 and second dispersion-compensating device 342 are connected to each other at a length ratio of 1:0.46. As can be seen from Fig. 10D, the dispersion in C band is compensated for by the first dispersion-compensating device 341, whereas the dispersion in L band is compensated for by the second dispersion-compensating device 342, whereby dispersion is sufficiently compensated for in the signal wavelength band including the C and L band.

[0089] In this specific example, the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 at a wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ is 100%, whereby the dispersion slope is compensated for by 100% at a wavelength of $1.55 \mu\text{m}$.

[0090] The inventors have studied dispersion characteristics concerning many specific examples including those mentioned above. Fig. 11 shows the relationship between the dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ and the dispersion deviation in this dispersion compensating system 100,200 in the signal wavelength band including the C band(indicated by hollow bullets) and L band(indicated by hollow triangles).

[0091] As shown in Fig. 11, the dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ needs to fall within a range of 60 to 150% so as to yield a dispersion deviation of $\pm 0.5 \text{ ps/nm/km}$. Moreover, the dispersion slope compensating ratio of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ needs to fall within a range of 85 to 130% so as to yield a dispersion deviation of $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$.

[0092] Thus, the inventors have found that a preferred range of the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ is 60 to 150%, more preferably, 85 to 130%. If the dispersion slope compensating ratio η of the first dispersion compensating device 141 provided on the first common transmission line 111 at the wavelength of $1.55 \mu\text{m}$ lies within this range, then fluctuations in dispersion among wavelengths are suppressed.

[0093] A fifth embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 12 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 500 in accordance with the fifth embodiment. The dispersion-compensating system 500 comprises, successively on a main transmission line 510 between an input end 500a and an output end 500b, a dispersion-compensating device 531, a demultiplexer 542, a dispersion-compensating device 532, a demultiplexer 543, a dispersion-compensating device 533, and a multiplexer 550. Each of the dispersion-compensating devices 531 to 533 is preferably a dispersion-compensating optical fiber, whereas each of the demultiplexers 542, 543 is a WDM coupler.

[0094] The demultiplexer 542 demultiplexes optical signals (e.g., in a signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm) outputted from the dispersion-compensating device 531, outputs the optical signals in a first wavelength band (e.g., S band of 1490 nm to 1520 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to a branched transmission line 522, and outputs the optical signals in the remaining wavelength band to the dispersion-compensating device 532. The demultiplexer 543 demultiplexes the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 532, outputs the optical signals in a second wavelength band (e.g., C band of 1520 nm to 1565 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to a branched transmission line 523, and outputs the optical signals in the remaining third wavelength band (e.g., L band of 1565 nm to 1620 nm) to the dispersion-compensating device 533. The multiplexer 550 multiplexes the optical signals in the first wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 542 so as to propagate through the branched transmission line 522, the optical signals in the second wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 543 so as to propagate through the branched transmission line 523, and the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 533, and outputs thus multiplexed optical signals. The optical signals outputted from the multiplexer 550 are outputted to the outside of the dispersion-compensating system 500 from the output end 500b.

[0095] In this dispersion-compensating system 500, among the optical signals inputted from the input end 500a, the optical signals in the first wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 542 so as to be outputted to the output end 500b by way of the branched transmission line 522 and multiplexer 550 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating device 531 alone. The optical signals in the second wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 543 so as to be outputted to the output end 500b by way of the branched transmission line 523 and multiplexer 550 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating devices 531, 532. The optical signals in the third wavelength band outputted by the dispersion-compensating device 533 to the output end

500b by way of the multiplexer 550 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating devices 531 to 533.

[0096] Two specific operational examples of the dispersion-compensating system 500 in accordance with this embodiment will now be explained. Figs. 13A to 13D are charts for explaining a first specific example of dispersion compensating operations of the dispersion-compensating system 500 in accordance with the fifth embodiment. In the first specific example, the dispersion-compensating device 531 has a negative dispersion in the wavelength band including the first to third wavelength bands. The dispersion-compensating device 532 has a negative dispersion in the wavelength band including the second and third wavelength bands. The dispersion-compensating device 533 has a negative dispersion in the third wavelength band. As shown in Fig. 13A, the optical signals inputted from the input end 500a have a positive accumulated dispersion amount and a positive slope of accumulated dispersion amount in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III.

[0097] In the first specific example, the accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 531 at the first stage so as to be fed to the demultiplexer 542 (optical signals at point A in Fig. 12) is reduced, in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III, by the dispersion-compensating device 531 having a negative dispersion. Here, the optical signals in the first wavelength band I have a sufficiently small accumulated dispersion amount as shown in Fig. 13B, whereby they are outputted to the branched transmission line 522. However, the optical signals in the second and third wavelength bands II, III still have a large accumulated dispersion amount, so that they are fed to the dispersion-compensating device 532.

[0098] The accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 532 at the middle stage so as to be fed to the demultiplexer 543 (optical signals at point B in Fig. 12) is reduced, in the wavelength band including the second and third wavelength bands II and III, by the dispersion-compensating device 532 having a negative dispersion. Here, the optical signals in the second wavelength band II have a sufficiently small accumulated dispersion amount as shown in Fig. 13C, whereby they are outputted to the branched transmission line 523. However, the optical signals in the third wavelength band III still have a large accumulated dispersion amount, so that they are fed to the dispersion-compensating device 533.

[0099] The accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 533 at the last stage so as to be fed to the multiplexer 550 (optical signals at point C in Fig. 12) is reduced, in the third wavelength band III, by the dispersion-compensating device 533 having a negative dispersion. As a result, the accumulated dispersion amount

of the optical signals in the third wavelength band III becomes sufficiently small as shown in Fig. 13D. Thus, the accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the multiplexer 550 to the output end 500b becomes sufficiently small in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III.

[0100] Figs. 14A to 14D are charts for explaining a second specific example of dispersion compensating operations of the dispersion-compensating system 500 in accordance with the fifth embodiment. In the second specific example, both dispersion and dispersion slope of the dispersion-compensating device 531 are negative in the wavelength band including the first to third wavelength bands. In the dispersion-compensating device 532, both dispersion and dispersion slope are positive in the wavelength band including the second and third wavelength bands. In the dispersion-compensating device 533, both dispersion and dispersion slope are positive in the third wavelength band. The optical signals inputted from the input end 500a have a positive accumulated dispersion amount and a positive slope of accumulated dispersion amount in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III as shown in Fig. 14A.

[0101] In the second specific example, the accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 531 at the first stage so as to be fed to the demultiplexer 542 (optical signals at point A in Fig. 12) is reduced, in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III, by the dispersion-compensating device 531 whose dispersion and dispersion slope are both negative. Here, the optical signals in the first wavelength band I have a sufficiently small accumulated dispersion amount as shown in Fig. 14B, whereby they are outputted to the branched transmission line 522. However, the optical signals in the second and third wavelength bands II, III enhance their accumulated dispersion amount in the negative direction, so that they are fed to the dispersion-compensating device 532.

[0102] The accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 532 at the middle stage so as to be fed to the demultiplexer 543 (optical signals at point B in Fig. 12) is reduced, in the wavelength band including the second and third wavelength bands II and III, by the dispersion-compensating device 532 whose dispersion and dispersion slope are both positive. Here, the optical signals in the second wavelength band II have a sufficiently small accumulated dispersion amount as shown in Fig. 14C, whereby they are outputted to the branched transmission line 523. However, the optical signals in the third wavelength band III still have a large accumulated dispersion amount in the negative direction, so that they are fed to the dispersion-compensating device 533.

[0103] The accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 533 at the last stage so as to be fed to the

multiplexer 550 (optical signals at point C in Fig. 12) is reduced, in the third wavelength band III, by the dispersion-compensating device 533 whose chromatic dispersion and dispersion slope are both positive. As a result, the accumulated dispersion amount of the optical signals in the third wavelength band III becomes sufficiently small as shown in Fig. 14D. Thus, the accumulated dispersion amount of the optical signals outputted from the multiplexer 550 to the output end 500b becomes sufficiently small in the wavelength band including the first to third wavelength bands I to III.

[0104] Thus, in the dispersion-compensating system 500, the respective optical signals in the first to third wavelength bands are subjected to different numbers of dispersion-compensating devices, whereby appropriate dispersion compensation is effected. As a consequence, the dispersion-compensating system 500 can reduce accumulated dispersion over a wide wavelength band including the first to third wavelength bands.

[0105] A sixth embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 15 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 600 in accordance with the sixth embodiment. The dispersion-compensating system 600 comprises, successively on a main transmission line 610 between an input end 600a and an output end 600b, a demultiplexer 641, a dispersion-compensating device 631, a demultiplexer 642, a dispersion-compensating device 632, and a multiplexer 650. Preferably, each of the demultiplexers 641, 642 is a WDM coupler.

[0106] The demultiplexer 641 demultiplexes optical signals (e.g., in a signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm) fed from the input end 600a, outputs the optical signals in a first wavelength band (e.g., S band of 1490 nm to 1520 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to a branched transmission line 621, and outputs the optical signals in the remaining wavelength band to the dispersion-compensating device 631. The demultiplexer 642 demultiplexes the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 631, outputs the optical signals in a second wavelength band (e.g., C band of 1520 nm to 1565 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to a branched transmission line 622, and outputs the optical signals in the remaining third wavelength band (e.g., L band of 1565 nm to 1620 nm) to the dispersion-compensating device 632. The multiplexer 650 multiplexes the optical signals in the first wavelength band outputted from the demultiplexer 642 so as to propagate through the branched transmission line 621, the optical signals in the second wavelength band outputted from the demultiplexer 642 so as to propagate through the branched transmission line 622, and the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 632, and outputs thus multiplexed optical signals. The optical signals outputted from the multiplexer 650 are outputted to the outside of the dispersion-compensating system 600

from the output end 600b.

[0107] In this embodiment, the dispersion-compensating device 631 is a dispersion-compensating optical fiber, whereas the dispersion-compensating device 632 comprises a three-terminal circulator 632A and a chirped fiber grating 632B. The three-terminal circulator 632A outputs to the chirped fiber grating 632B the optical signals fed from the demultiplexer 642, and also outputs to the multiplexer 650 the optical signals fed from the chirped fiber grating 632B. The chirped fiber grating 632B is a fiber grating having a refractive index modulation formed in the optical waveguide region of an optical fiber, in which intervals of the refractive index modulation changes longitudinally. Light having a certain wavelength is reflected at a position where the refractive index modulation has an interval satisfying Bragg condition therefor. Namely, the dispersion of the optical signals reaching the multiplexer 650 from the demultiplexer 642 is compensated for by this action in the dispersion-compensating device 632 comprising the three-terminal circulator 632A and chirped fiber grating 632B, since these optical signals travel over different optical path lengths depending on their wavelength.

[0108] As a consequence, among the optical signals fed to the input end 600a in this dispersion-compensating system 600, the optical signals in the first wavelength band outputted to the output end 600b from the demultiplexer 641 by way of the branched transmission line 621 and multiplexer 650 would not be subjected to dispersion compensation. The optical signals in the second wavelength band outputted to the output end 600b from the demultiplexer 642 by way of the branched transmission line 622 and multiplexer 650 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating device 631 alone. The optical signals in the third wavelength band outputted to the output end 600b from the dispersion-compensating device 632 by way of the multiplexer 650 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating devices 631 and 632.

[0109] Thus, in the dispersion-compensating system 600, the optical signals in the first wavelength band, for which no dispersion compensation is necessary, are outputted without any dispersion compensation. The respective optical signals in the second and third wavelength bands, for which dispersion compensation is necessary, are subjected to different numbers of dispersion-compensating devices, whereby appropriate dispersion compensation is effected. As a consequence, the dispersion-compensating system 600 can reduce accumulated dispersion over a wide wavelength band including the first to third wavelength bands.

[0110] A seventh embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 16 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 700 in accordance with the seventh embodiment. The dispersion-compensating system 700 comprises, successive-

ly on a main transmission line 710 between an input end 700a and an output end 700b, a demultiplexer 741, a dispersion-compensating device 731, a demultiplexer 742, a dispersion-compensating device 732, a demultiplexer 743, a dispersion-compensating device 733, and an optical amplifier 760. Also, this diagram shows receivers 791, 792 and an ADM (Add-Drop Multiplexer) 793. Preferably, each of the dispersion-compensating devices 731 to 733 is a dispersion-compensating optical fiber, whereas each of the demultiplexers 741 to 743 is a WDM coupler.

[0111] The demultiplexer 741 demultiplexes optical signals (e.g., in a signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm) fed from the input end 700a, outputs the optical signals in a first wavelength band (e.g., S+ band of 1450 nm to 1490 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to an output end 700c by way of a branched transmission line 721, and outputs the optical signals in the remaining wavelength band to the dispersion-compensating device 731. The demultiplexer 742 demultiplexes the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 731, outputs the optical signals in a second wavelength band (e.g., S band of 1490 nm to 1520 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to an output end 700d by way of a branched transmission line 722, and outputs the optical signals in the remaining wavelength band to the dispersion-compensating device 732. The demultiplexer 743 demultiplexes the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 732, outputs the optical signals in a third wavelength band (e.g., C band of 1520 nm to 1565 nm) as one of thus demultiplexed wavelength bands to an output end 700e by way of a branched transmission line 723, and outputs the optical signals in the remaining fourth wavelength band (e.g., L band of 1565 nm to 1620 nm) to the dispersion-compensating device 733. The optical amplifier 760 amplifies the optical signals outputted from the dispersion-compensating device 733 and outputs thus amplified optical signals to the output end 700b.

[0112] In the dispersion-compensating system 700, among the optical signals fed from the input end 700a, the optical signals in the first wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 741 so as to be outputted to the output end 700c by way of the branched transmission line 721 are received by the receiver 791 without being subjected to dispersion compensation by any dispersion-compensating device. The optical signals in the second wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 742 so as to be outputted to the output end 700d by way of the branched transmission line 722 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating device 731 alone and are received by the receiver 792. The optical signals in the third wavelength band demultiplexed by the demultiplexer 743 so as to be outputted to the output end 700e by way of the branched transmission line 723 are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating de-

vices 731, 732 and are transmitted to other systems by way of the ADM 793. The optical signals in the fourth wavelength band outputted to the output end 700b are subjected to dispersion compensation by the dispersion-compensating devices 731 to 733 and are amplified by the optical amplifier 760, so as to be transmitted to later stages.

[0113] Thus, in the dispersion-compensating system 700, the optical signals in the first wavelength band, for which no dispersion compensation is necessary, are outputted from the output end 700c without any dispersion compensation and are received by the receiver 791. The respective optical signals in the second to fourth wavelength bands are subjected to different numbers of dispersion-compensating devices, whereby appropriate dispersion compensation is effected, so as to be outputted from their corresponding output ends 700b, 700d, and 700e. The optical signals in the fourth wavelength band sent out to later stages are amplified by the optical amplifier 760 and then are outputted from the output end 700b. As a consequence, the dispersion-compensating system 700 can be employed as a functional apparatus capable of selecting optical signals over a wide wavelength band including the first to fourth wavelength bands while reducing their accumulated dispersion.

[0114] An eighth embodiment of the dispersion-compensating system in accordance with the present invention will now be explained. Fig. 17 is a schematic block diagram of the dispersion-compensating system 800 in accordance with the eighth embodiment. The dispersion-compensating system 800 comprises first and second common transmission lines 811, 812, first to fourth branched transmission lines 821 to 824, a demultiplexer 831, a multiplexer 832, and first to fourth dispersion-compensating devices 841 to 844. The dispersion-compensating system 800 is connected to an external single-mode optical fiber 1 by way of an input end corresponding to one end of the first common transmission line 811. As a consequence, the optical signals propagating through the single-mode optical fiber 1 are fed to the dispersion-compensating system 800 from the input end 815.

[0115] The demultiplexer 831 is provided between the first common transmission line 811 and the first to fourth branched transmission lines 821 to 824. The demultiplexer 831 demultiplexes the optical signals in the signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm propagating through the first common transmission line 811 into S+ band (1450 nm to 1490 nm), S band (1490 nm to 1520 nm), C band (1520 nm to 1565 nm), and L band (1565 nm to 1620 nm). Also, the demultiplexer 831 outputs the optical signals in S+ band to the first branched transmission line 821, the optical signals in S band to the second branched transmission line 822, the optical signals in C band to the third branched transmission line 823, and the optical signals in L band to the fourth branched transmission line 824.

[0116] The multiplexer 832 is provided between the second common transmission line 812 and the first to fourth branched transmission lines 821 to 824. The multiplexer 832 multiplexes the optical signals in S+ band propagating through the first branched transmission line 821, the optical signals in S band propagating through the second branched transmission line 822, the optical signals in C band propagating through the third branched transmission line 823, and the optical signals in L band propagating through the fourth branched transmission line 824, and outputs thus multiplexed optical signals to the second common transmission line 812. The optical signals outputted from the multiplexer 832 so as to propagate through the second common transmission line 812 are outputted to the outside by way of an output end 816 which corresponds to one end of the second common transmission line 812.

[0117] Here, the first dispersion-compensating device 841 is provided on the first common transmission line 811. The first dispersion-compensating device 841 compensates for the dispersion in S+, S, C and L bands. However, though the first dispersion-compensating device 841 can fully compensate for the dispersion in S+ band, it cannot sufficiently compensate for the dispersion in S, C, and L bands. On the other hand, the second dispersion-compensating device 842 is provided on the second branched transmission line 822. As a consequence, the dispersion in S band, which has not sufficiently been compensated for by the first dispersion-compensating device 841, is fully compensated for by the second dispersion-compensating device 842. Also, the third dispersion-compensating device 843 is provided on the third branched transmission line 823. Therefore, the dispersion in C band, which has not sufficiently been compensated for by the first dispersion-compensating device 841, is fully compensated for by the third dispersion-compensating device 843. Further, the fourth dispersion-compensating device 844 is provided on the fourth branched transmission line 824. As a consequence, the dispersion in L band, which has not sufficiently been compensated for by the first dispersion-compensating device 841, is fully compensated for by the fourth dispersion-compensating device 844.

[0118] Preferably, the second to fourth dispersion-compensating devices for compensating for the dispersions in the individual wavelength bands demultiplexed by the demultiplexer 831 have a module form as being wound like a coil. As a consequence, the space for installation is reduced, and the cost of installation is cut down.

[0119] Provided on the first branched transmission line 821 are optical amplifiers 851, 855 which amplify optical signals in S+ band. Provided on the second branched transmission line 822 are optical amplifiers 852, 856 which amplify optical signals in S band. Provided on the third branched transmission line 823 are optical amplifiers 853, 857 which amplify optical signals in C band. Provided on the fourth branched transmission

line 824 are optical amplifiers 854, 858 which amplify optical signals in L band. Here, it will be sufficient if an optical amplifier is provided on at least one of the input end side and output end side of each of the first to fourth branched transmission lines 821 to 824. As the optical amplifier, a Raman amplifier such as one disclosed in "Crosstalk Bandwidth in Backward Pumped Fiber Raman Amplifiers" (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, NOVEMBER 1999, VOL. 11, NO. 11, pp. 1417-1449, Jun Shan Wey et al.), for example, can be used.

[0120] Here, in the dispersion-compensating system 800 in accordance with this embodiment, the dispersion deviation in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm (C and L bands) will be favorable if it is ± 0.5 ps/nm/km or less, preferably ± 0.2 ps/nm/km or less, more preferably ± 0.1 ps/nm/km or less, further preferably ± 0.05 ps/nm/km or less, most preferably ± 0.025 ps/nm/km or less.

[0121] In general, the demand for dispersion becomes severer as the bit rate of optical signals increases. While accumulated dispersion is required to be 1000 ps/nm or less at a signal speed of 10 Gbits/s, it is needed to be 250 ps/nm or less and 63 ps/nm or less when the signal speed rises to 20 Gbits/s and 40 Gbits/s, respectively. Thus, it becomes harder to transmit optical signals as the signal speed rises or the transmission line elongates.

[0122] For example, when transmission over a distance of 10000 km required for transpacific communications is taken into consideration by use of optical signals at 10 Gbits/s, accumulated dispersion is required to be 1000 ps/nm or less, whereby dispersion is needed to be 0.1 ps/nm/km or less.

[0123] Similarly, when transmission over a distance of 5000 km in view of transatlantic communications is taken into consideration, dispersion is needed to be 0.2 ps/nm/km or less. Further, when transmission over a distance of 2000 km is taken into consideration, dispersion is needed to be 0.5 ps/nm/km or less.

[0124] When transmission over a distance of 10000 km is taken into consideration by use of optical signals at 20 Gbits/s, accumulated dispersion is required to be 250 ps/nm or less, whereby dispersion is needed to be 0.025 ps/nm/km or less. When transmission over a distance of 5000 km is taken into consideration, dispersion is needed to be 0.05 ps/nm/km or less.

[0125] Therefore, if the dispersion deviation in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm (C and L bands) is ± 0.5 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 2000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.1 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 10000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.05 ps/nm/km or less, then trans-

mission over a distance of 5000 km is possible by use of optical signals at 20 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.025 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 10000 km is possible by use of optical signals at 20 Gbits/s.

[0126] Currently, demands for enhancing the transmission capacity has been increasing, and studies for increasing the transmission speed and broadening the wavelength band in use have been under way in order to respond to these demands. Along therewith, attention has been paid to S band (1490 nm to 1520 nm) and S+ band (1450 nm to 1490 nm) in addition to C band (1520 nm to 1565 nm) and L band (1565 nm to 1620 nm). For enhancing the transmission capacity, it is effective to use all these bands.

[0127] Hence, in the dispersion-compensating system 800 in accordance with this embodiment, the dispersion deviation in a signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm including S band in addition to C and L bands will be favorable if it is ± 0.5 ps/nm/km or less, preferably ± 0.2 ps/nm/km or less, more preferably ± 0.1 ps/nm/km or less, most preferably ± 0.05 ps/nm/km or less. If the dispersion deviation in the signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm (S, C, and L bands) is ± 0.5 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 2000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.1 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 10000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.05 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of optical signals at 20 Gbits/s.

[0128] Further, in the dispersion-compensating system 800 in accordance with this embodiment, the dispersion deviation in a signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm including S+ band in addition to C, L, and S bands will be favorable if it is ± 0.5 ps/nm/km or less, preferably ± 0.2 ps/nm/km or less. If the dispersion deviation in the signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm (S+, S, C, and L bands) is ± 0.5 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 2000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s. If the dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less, then transmission over a distance of 5000 km is possible by use of optical signals at 10 Gbits/s.

[0129] Thus, in the dispersion-compensating system 800 in accordance with the eighth embodiment, as for S+ band in the signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm, its dispersion is compensated for by the first dispersion-compensating device 841, whereas its optical signals are amplified by the optical amplifiers 851, 855. As for S band, its dispersion is compensated for by both of the first and second dispersion-compensating devices 841, 842, whereas its optical signals are amplified by the optical amplifiers 852, 856. As for C band, its

dispersion is compensated for by both of the first and third dispersion-compensating devices 841, 843, whereas its optical signals are amplified by the optical amplifiers 853, 857. As for L band, its dispersion is compensated for by both of the first and fourth dispersion-compensating devices 841, 844, whereas its optical signals are amplified by the optical amplifiers 854, 858. As a result, over a wide range of signal wavelength bands including S+, S, C, and L bands, the dispersion of optical transmission line can fully be reduced, and optical signals can be amplified. The dispersion-compensating system 800 in accordance with the eighth embodiment is suitably used for a repeater station.

[0130] A specific example of the dispersion-compensating system 800 in accordance with the eighth embodiment will now be shown.

[0131] Employed as the single-mode optical fiber 1 is one comprising a core made of pure silica and claddings made of silica doped with F element, while having a zero-dispersion wavelength near a wavelength of 1.3 μ m. This single-mode optical fiber 1 has, at a wavelength of 1.55 μ m, a dispersion of 20.4 ps/nm/km and a dispersion slope of 0.059 ps/nm²/km.

[0132] As the first dispersion-compensating device 841, a dispersion-compensating optical fiber having the refractive index profile shown in Figs. 18A, 18B is used. In the first dispersion-compensating device (dispersion-compensating optical fiber) 841, a core 31 has a diameter 2a of 4.2 μ m, a first cladding 32 has an outside diameter 2b of 7.3 μ m, and a second cladding 33 has an outside diameter 2c of 22 μ m. The relative refractive index difference Δ^+ of the core 31 with respect to a third cladding 34 is 1.4%, the relative refractive index difference Δ^- of the first cladding 32 with respect to the third cladding 34 is -0.7%, and the relative refractive index difference Δ_3 of the second cladding 33 with respect to the third cladding 34 is 0.09%. Also, the first dispersion-compensating device 841 has, at a wavelength of 1.55 μ m, a dispersion of -64.4 ps/nm/km and a dispersion slope of -0.207 ps/nm²/km.

[0133] Employed as the second dispersion-compensating device 842 is a dispersion-shifted optical fiber having a zero-dispersion wavelength of 1502 nm, and a dispersion slope of 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μ m.

[0134] Employed as the third dispersion-compensating device 843 is a dispersion-shifted optical fiber having a zero-dispersion wavelength of 1518 nm, and a dispersion slope of 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μ m.

[0135] Employed as the fourth dispersion-compensating device 844 is a dispersion-shifted optical fiber having a zero-dispersion wavelength of 1530 nm, and a dispersion slope of 0.12 ps/nm²/km at a wavelength of 1.55 μ m.

[0136] Fig. 19 shows total dispersion characteristics in the case where such single-mode optical fiber 1 and first to fourth dispersion-compensating devices (disper-

sion-compensating optical fibers) 841 to 844 are connected together such that the single-mode optical fiber 1 has a length of 37.6 km, the first dispersion-compensating device 841 has a length of 12.4 km, the second dispersion-compensating device 842 has a length of 3.5 km, the third dispersion-compensating device 843 has a length of 8.8 km, and the fourth dispersion-compensating device 844 has a length of 11.5 km. As can be seen from Fig. 19, dispersion deviation is suppressed to ± 0.025 ps/nm/km or less in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm (C and L bands).

[0137] In a signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm (S, C, and L bands), dispersion deviation is suppressed to ± 0.05 ps/nm/km or less.

[0138] In a signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm (S+, S, C, and L bands), dispersion deviation is suppressed to ± 0.2 ps/nm/km or less.

[0139] Without being restricted to the above-mentioned embodiments, the present invention can be modified in various manners. For example, the dispersion-compensating system in accordance with the first or third embodiment may further comprise optical amplifiers for the C band and optical amplifiers for L band as well.

[0140] Also, in the dispersion-compensating system in accordance with the eighth embodiment, an additional dispersion-compensating device may be provided on the first branched transmission line (821 in Fig. 17). As a consequence, even when the dispersion in S+ band is not fully compensated for by the first dispersion-compensating device 841, it can further be compensated for by the additional dispersion-compensating device on the first branched transmission line.

[0141] From the foregoing explanations of the invention, it will be obvious that the same may be varied in many ways. Such variations are not to be regarded as a departure from the spirit and scope of the invention, and all such modifications as would be obvious to one skilled in the art are intended to be included within the scope of the following claims.

Industrial Applicability

[0142] The dispersion-compensating system of the present invention can fully reduce dispersion in a wide signal wavelength band. Hence, an optical transmission system employing the dispersion-compensating system of the present invention can carry out optical communications with a large capacity.

Claims

1. A dispersion-compensating system for a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, said system comprising:

a first common transmission line through which

light in said signal wavelength band propagates;

first and second branched transmission lines branching off from said first common transmission line;

a demultiplexer, provided between said first common transmission line and said first and second branched transmission lines, for demultiplexing light in said signal wavelength band propagating through said first common transmission line into first and second wavelength bands, and outputting light in said first wavelength band into said first branched transmission line and light in said second wavelength band into said second branched transmission line;

a first dispersion-compensating device, provided on said first common transmission line, for compensating for at least a dispersion in said first wavelength band; and

a second dispersion-compensating device, provided on said second branched transmission line, for compensating for at least a dispersion in said second wavelength band.

2. A dispersion-compensating system according to claim 1, wherein said first dispersion-compensating device compensates for the dispersion in said first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, and said first and second dispersion-compensating devices compensate for the dispersion in said second wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less.

3. A dispersion-compensating system according to claim 1, further comprising a third dispersion-compensating device provided on said first branched transmission line, said first and third dispersion-compensating devices compensating for the dispersion in said first wavelength band.

4. A dispersion-compensating system according to claim 3, wherein said first and third dispersion-compensating devices compensate for the dispersion in said first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, and said first and second dispersion-compensating devices compensate for the dispersion in said second wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less.

5. A dispersion-compensating system according to claim 1, said first dispersion compensating device has a dispersion slope compensating ratio of 60 to 150% at the wavelength of 1.55 μm .

6. A dispersion-compensating system according to

claim 1, further comprising a multiplexer for multiplexing light in said first wavelength band propagating through said first branched transmission line and light in said second wavelength band propagating through said second branched transmission line.

7. A dispersion-compensating system according to claim 1, further comprising:

a first optical amplifier, provided on said first branched transmission line, for amplifying light in said first wavelength band; and
a second optical amplifier, provided on said second branched transmission line, for amplifying light in said second wavelength band.

8. A dispersion-compensating system according to claim 7, wherein said first and second optical amplifiers include a Raman amplifier.

9. A dispersion-compensating system for a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm, said system comprising:

a first common transmission line through which light in said signal wavelength band propagates;

first and second branched transmission lines branching off from said first common transmission line;

a demultiplexer, provided between said first common transmission line and said first and second branched transmission lines, for demultiplexing light in said signal wavelength band propagating through said first common transmission line into first and second wavelength bands, and outputting light in said first wavelength band into said first branched transmission line and light in said second wavelength band into said second branched transmission line;

a first dispersion-compensating device, provided on said first branched transmission line, for compensating for a dispersion in said first wavelength band; and

a second dispersion-compensating device, provided on said second branched transmission line, for compensating for a dispersion in said second wavelength band.

10. A dispersion-compensating system according to claim 9, wherein said first dispersion-compensating device compensates for the dispersion in said first wavelength band so as to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less, and said second dispersion-compensating device compensates for the dispersion in said second wavelength band so as

to yield a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less.

11. A dispersion-compensating system according to claim 9, further comprising a multiplexer for multiplexing light in said first wavelength band propagating through said first branched transmission line and light in said second wavelength band propagating through said second branched transmission line.

12. A dispersion-compensating system according to claim 9, further comprising:

a first optical amplifier, provided on said first branched transmission line, for amplifying light in said first wavelength band; and
a second optical amplifier, provided on said second branched transmission line, for amplifying light in said second wavelength band.

13. A dispersion-compensating system according to claim 12, wherein said first and second optical amplifiers include a Raman amplifier.

14. A dispersion-compensating system comprising N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N ($N \geq 2$) successively provided on a main transmission line between an input end and an output end; and

a demultiplexer DIV_n ($2 \leq n \leq N$), provided between dispersion-compensating devices DC_{n-1} and DC_n in said N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N , for demultiplexing an optical signal outputted from said dispersion-compensating device DC_{n-1} , outputting an optical signal in thus demultiplexed one wavelength band to said dispersion-compensating device DC_n , and outputting an optical signal in the other wavelength band to a branched transmission line P_n ;

wherein a dispersion of the wavelength band demultiplexed by said demultiplexer so as to be outputted to said branched transmission line P_n is compensated for by the dispersion-compensating devices DC_1 to DC_{n-1} ($2 \leq n \leq N$) in said N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N .

15. A dispersion-compensating system according to claim 14, further comprising a demultiplexer DIV_1 , provided in front of the first-stage dispersion-compensating device DC_1 in said N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N , for demultiplexing the optical signal fed to said input end, outputting an optical signal in thus demultiplexed one wavelength band to said dispersion-compensating device DC_1 , and outputting an optical signal in the other wavelength band to a branched transmission line P_1 .

16. A dispersion-compensating system according to claim 14, further comprising a multiplexing section for inputting therein an optical signal outputted from the last-stage dispersion-compensating device DC_N in said N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N and an optical signal outputted to said branched transmission line P_n from said demultiplexer DIV_n ($2 \leq n \leq N$), multiplexing said optical signals, and outputting thus multiplexed optical signals. 5
17. A dispersion-compensating system according to claim 15, further comprising a multiplexing section for inputting therein an optical signal outputted from the last-stage dispersion-compensating device DC_N in said N dispersion-compensating devices DC_1 to DC_N and an optical signal outputted to said branched transmission line P_n from said demultiplexer DIV_n ($1 \leq n \leq N$), multiplexing said optical signals, and outputting thus multiplexed optical signals. 10
18. A dispersion-compensating system demultiplexing an optical signal inputted by way of a common transmission line into a plurality of wavelength bands and comprising a plurality of dispersion-compensating devices for compensating for respective dispersions in thus demultiplexed wavelength bands. 15
19. A dispersion-compensating system according to claim 18, wherein the number of wavelength bands to be demultiplexed is at least 2 but not greater than 5. 20
20. A dispersion-compensating system according to claim 18, wherein the wavelength bands to be demultiplexed are S+, S, C, and L bands. 25
21. A dispersion-compensating system according to claim 18, having a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less in a signal wavelength band of 1520 nm to 1620 nm. 30
22. A dispersion-compensating system according to claim 21, wherein said dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less. 35
23. A dispersion-compensating system according to claim 21, wherein said dispersion deviation is ± 0.1 ps/nm/km or less. 40
24. A dispersion-compensating system according to claim 21, wherein said dispersion deviation is ± 0.05 ps/nm/km or less. 45
25. A dispersion-compensating system according to claim 21, wherein said dispersion deviation is ± 0.025 ps/nm/km or less. 50
26. A dispersion-compensating system according to claim 18, having a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less in a signal wavelength band of 1490 nm to 1620 nm. 55
27. A dispersion-compensating system according to claim 26, wherein said dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less.
28. A dispersion-compensating system according to claim 26, wherein said dispersion deviation is ± 0.1 ps/nm/km or less.
29. A dispersion-compensating system according to claim 26, wherein said dispersion deviation is ± 0.05 ps/nm/km or less.
30. A dispersion-compensating system according to claim 18, having a dispersion deviation of ± 0.5 ps/nm/km or less in a signal wavelength band of 1450 nm to 1620 nm.
31. A dispersion-compensating system according to claim 30, wherein said dispersion deviation is ± 0.2 ps/nm/km or less.
32. A dispersion-compensating system according to claim 18, wherein said dispersion-compensating devices for compensating for the respective dispersions in demultiplexed wavelength bands have a module form.

Fig. 1

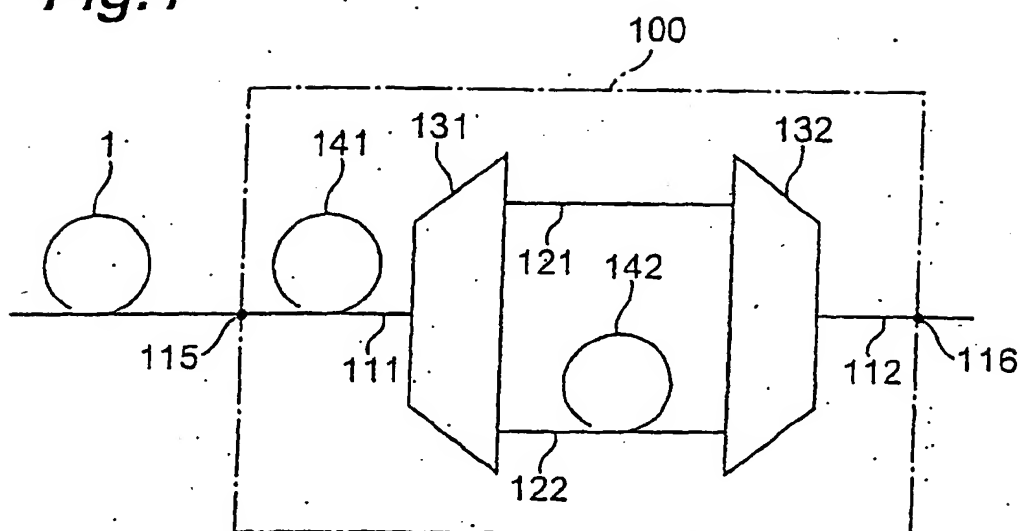


Fig.3

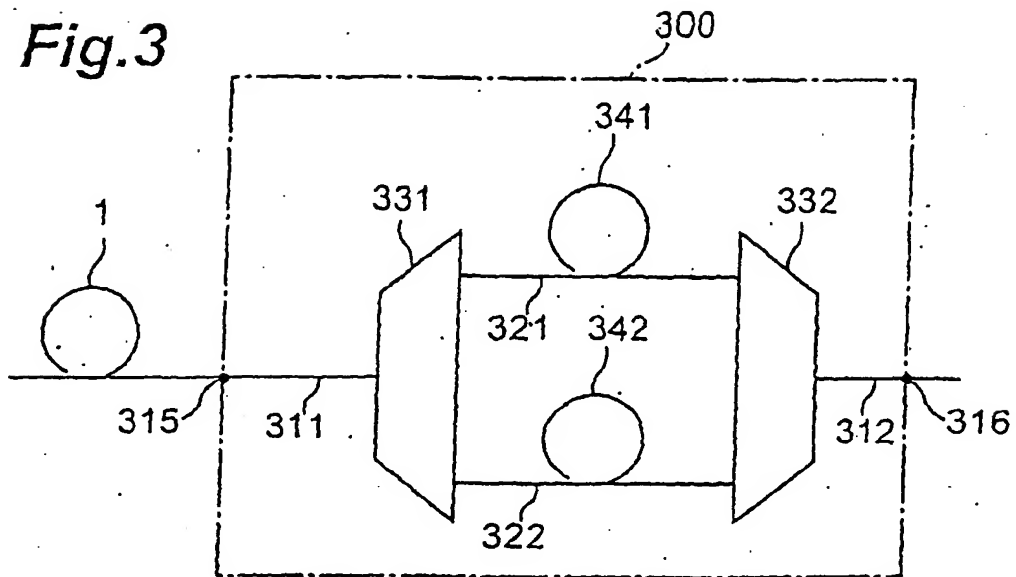


Fig.4

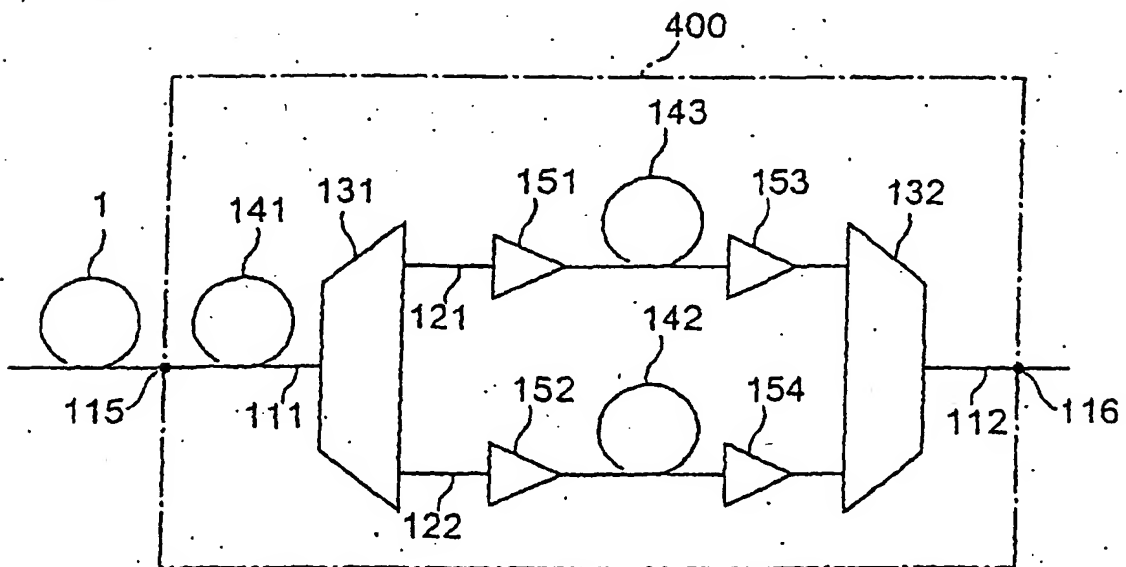


Fig.5A

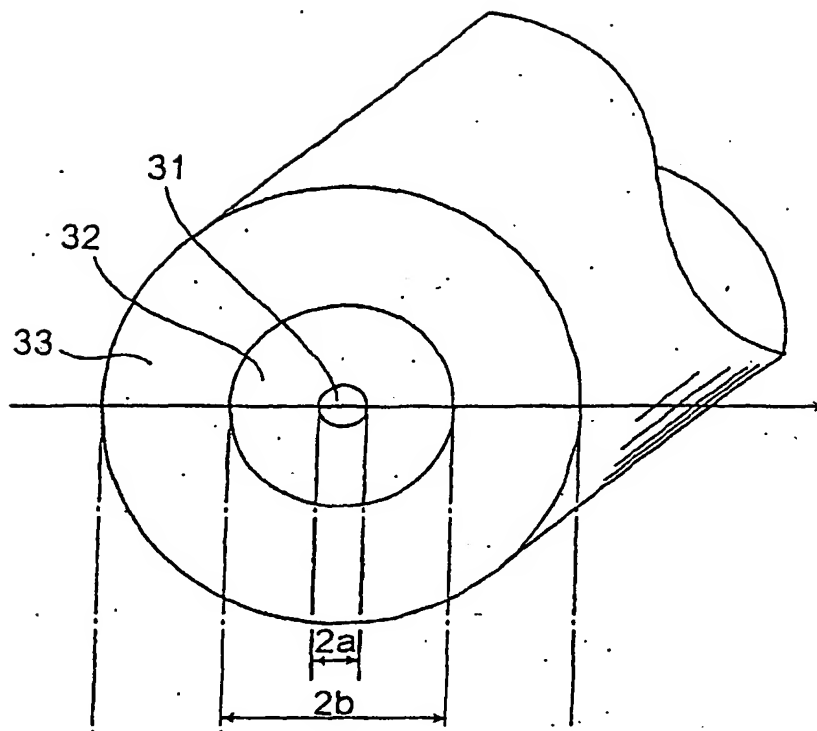


Fig.5B

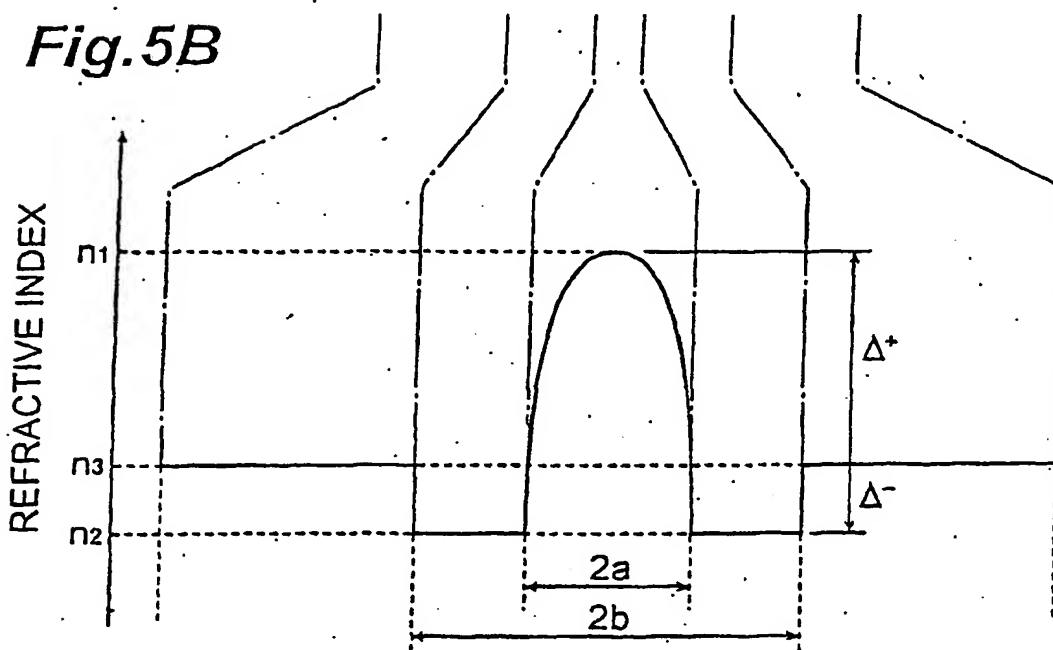


Fig. 6A

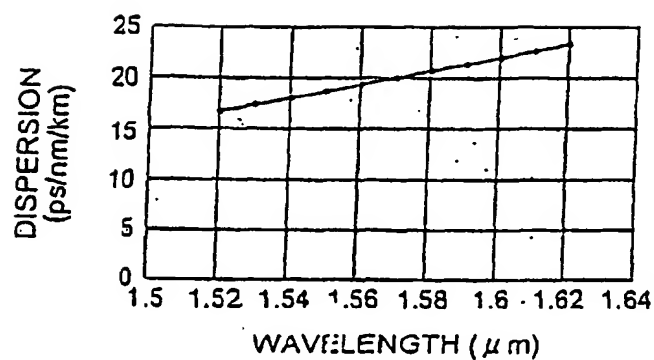


Fig. 6B

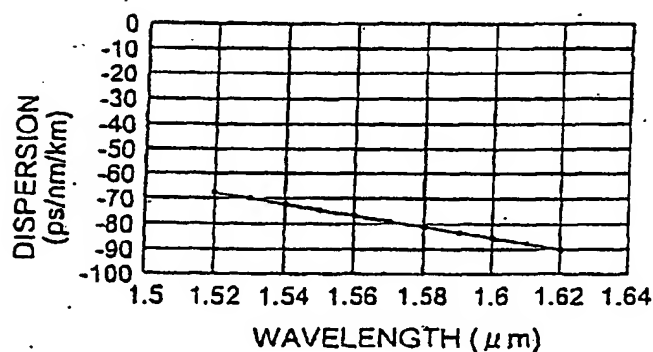


Fig. 6C

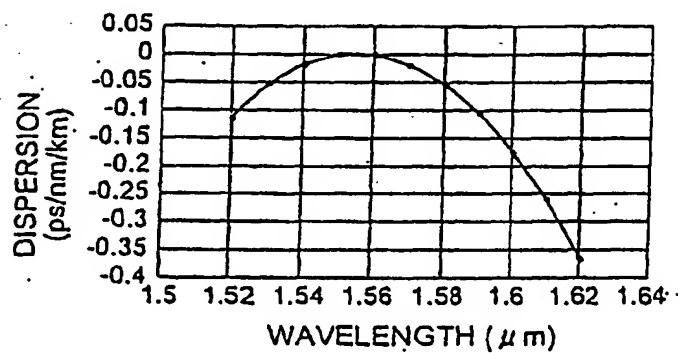


Fig. 6D

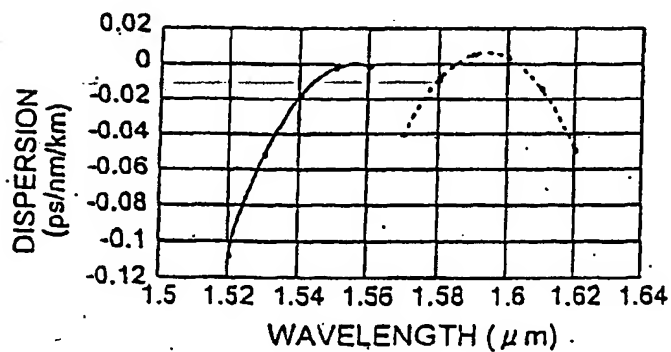


Fig.7A

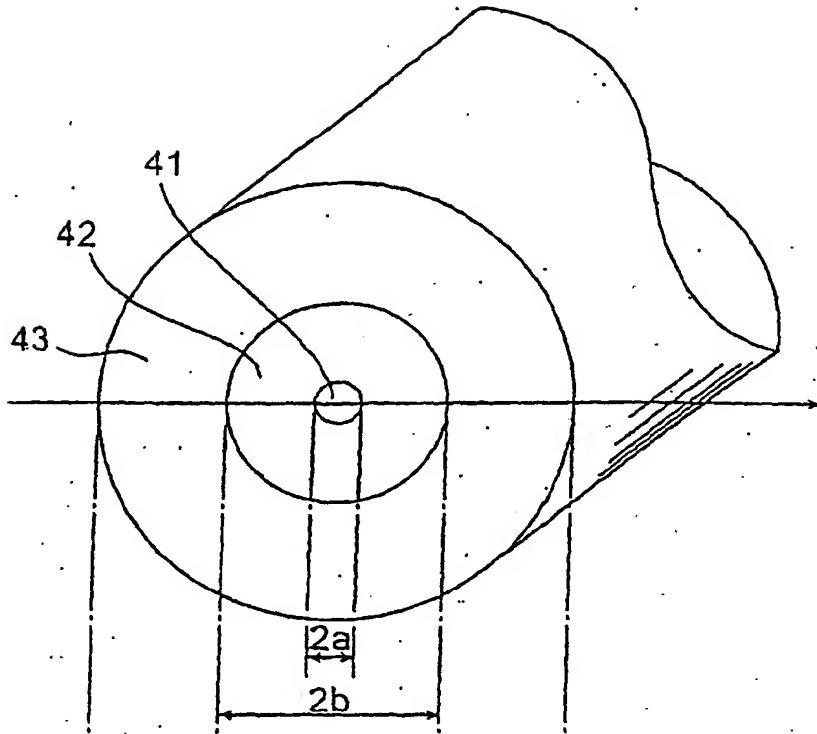


Fig.7B

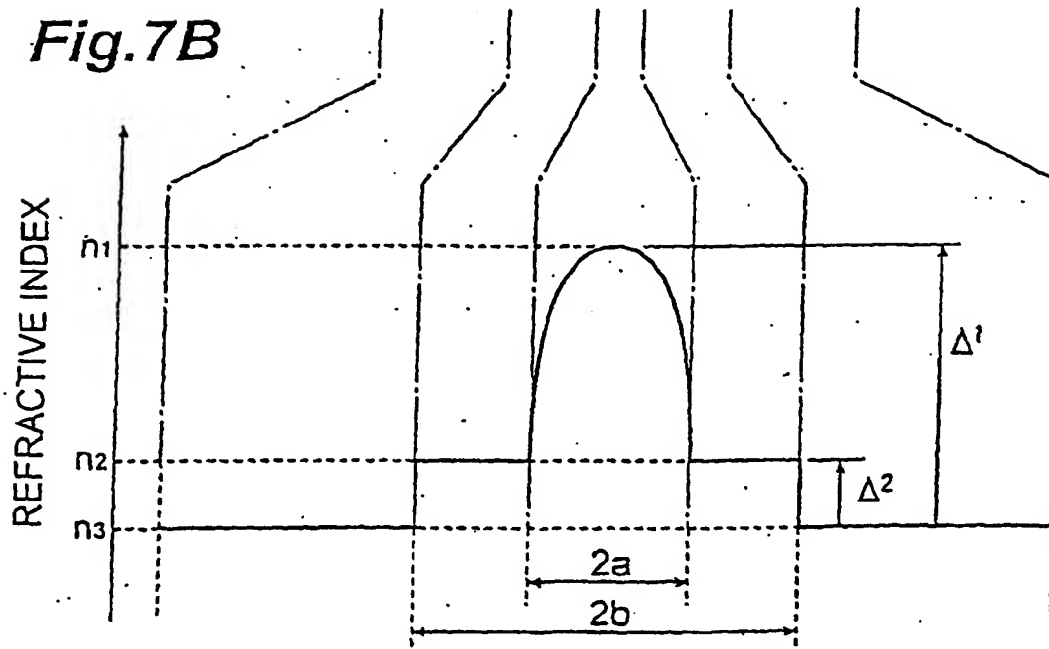


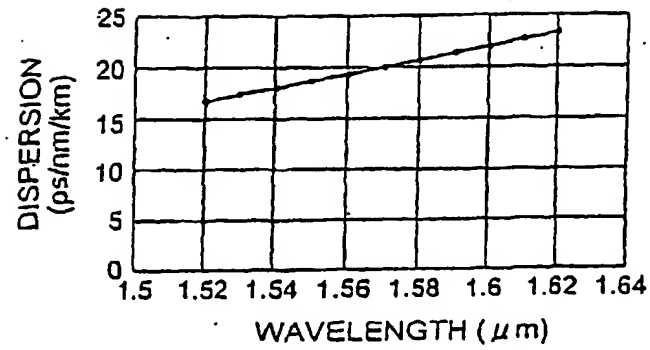
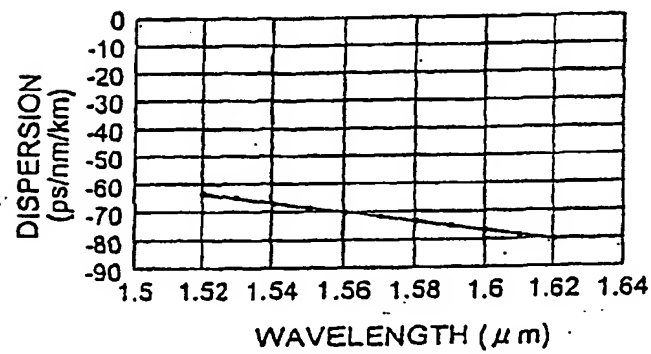
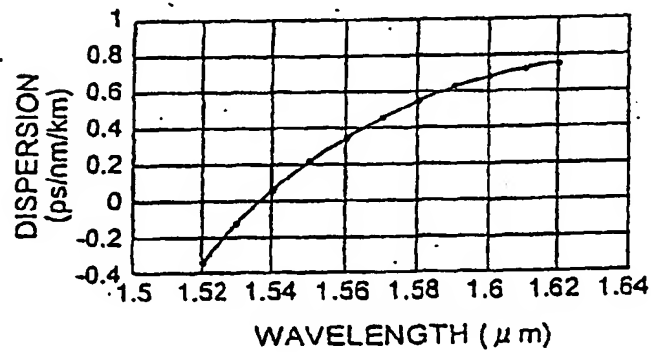
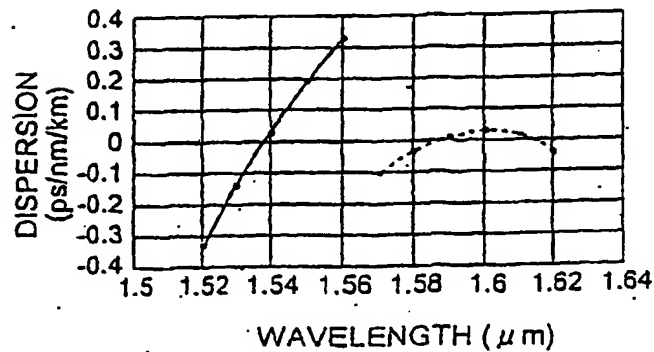
Fig.8A*Fig.8B**Fig.8C**Fig.8D*

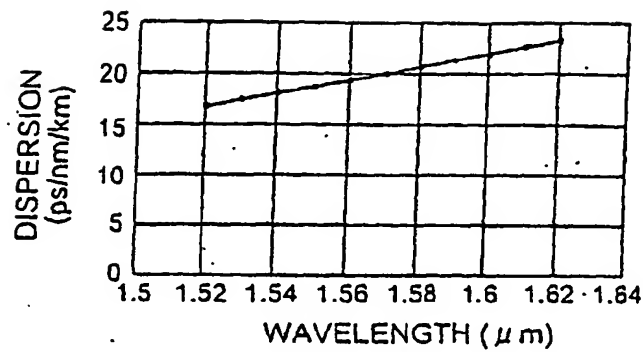
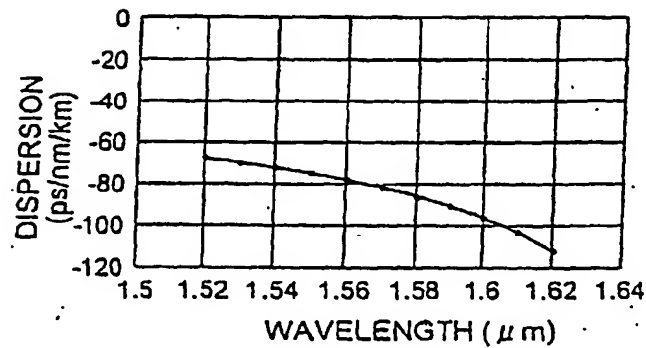
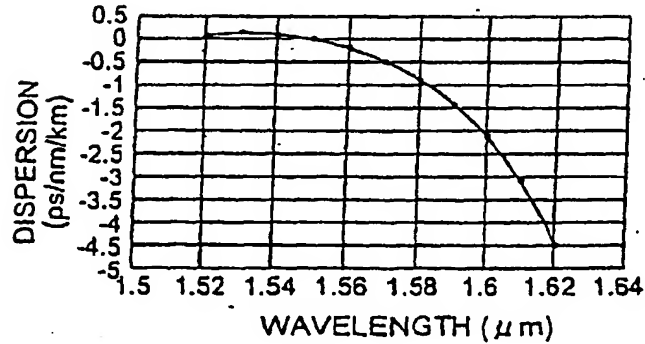
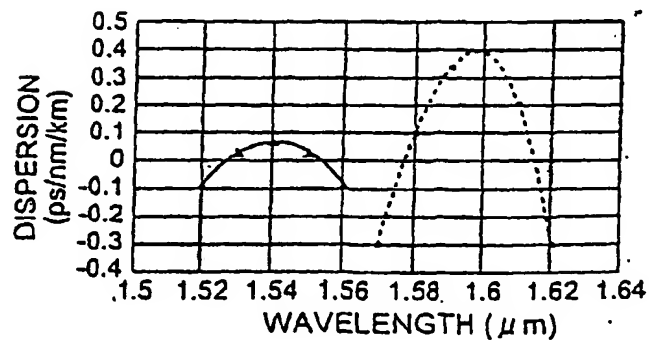
Fig.9A*Fig.9B**Fig.9C**Fig.9D*

Fig.10A

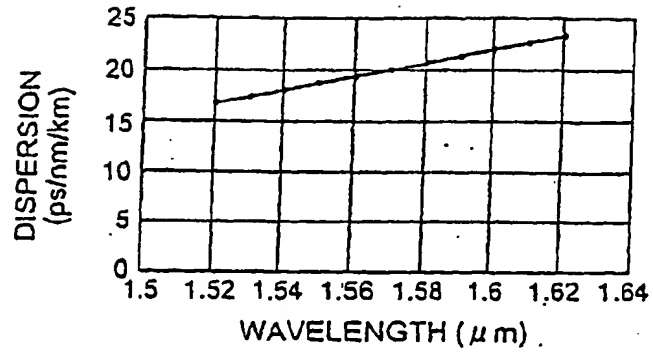


Fig.10B

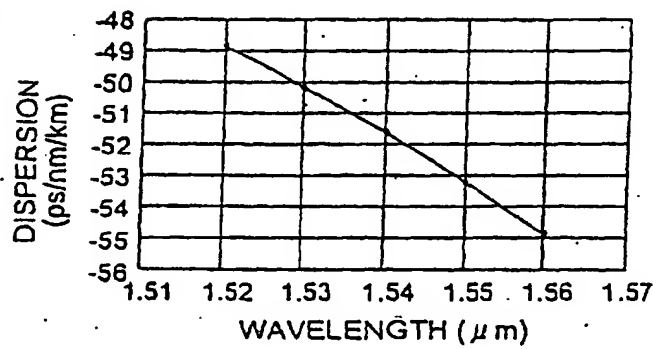


Fig.10C

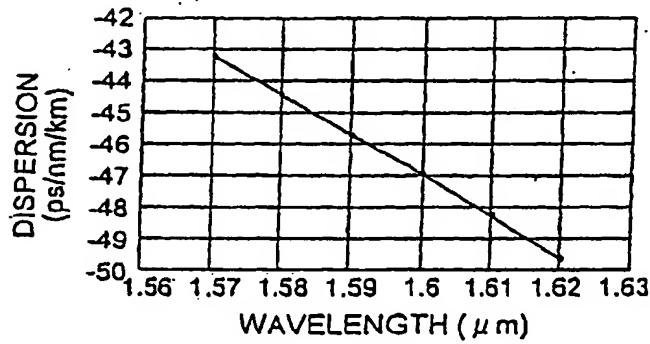


Fig.10D

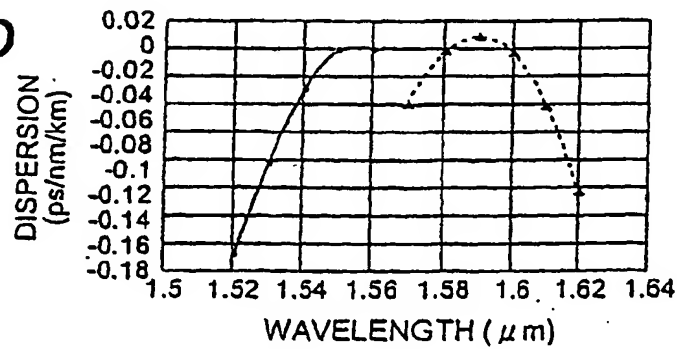


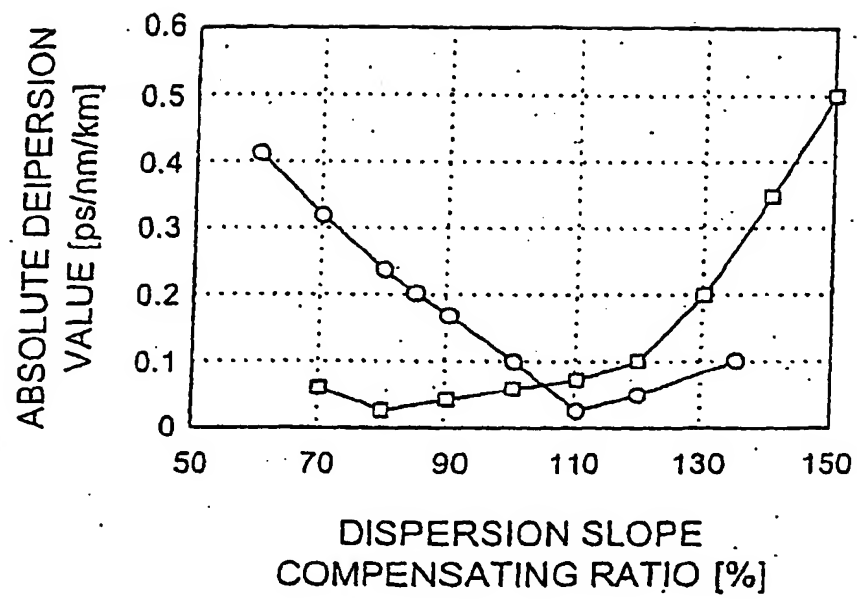
Fig.11

Fig.12

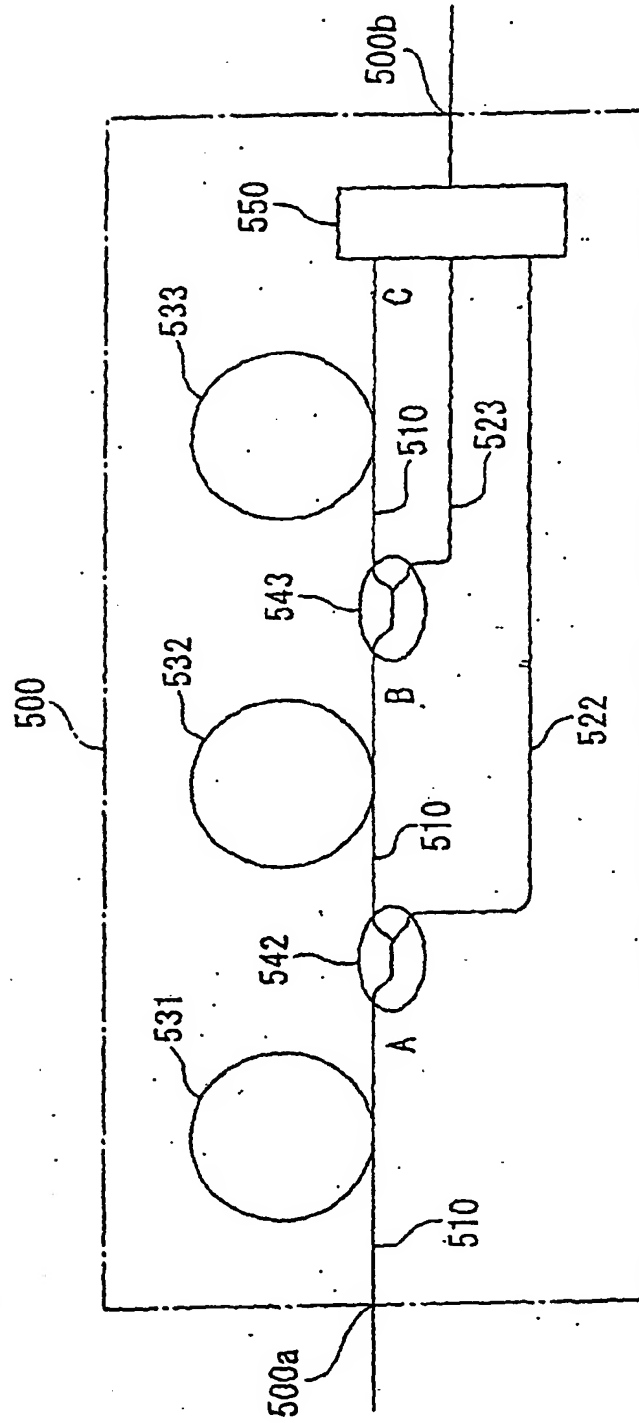


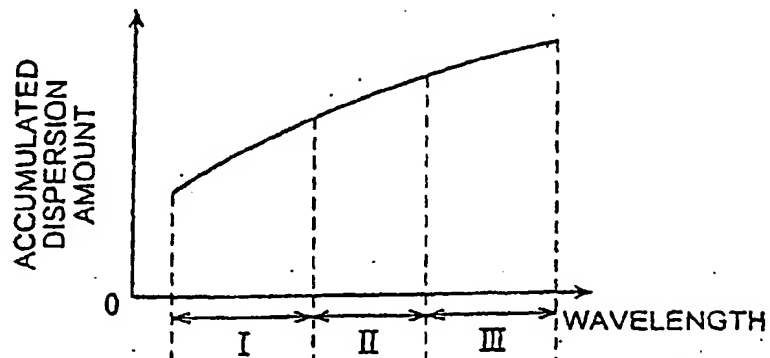
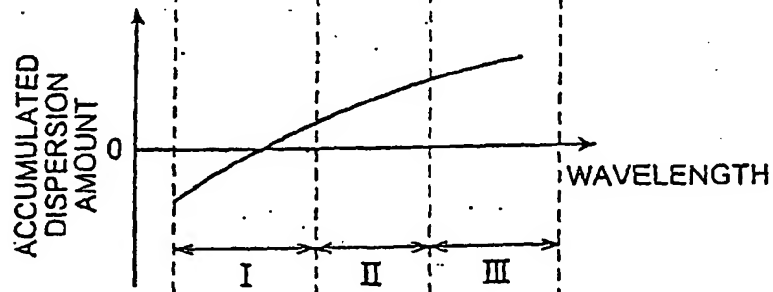
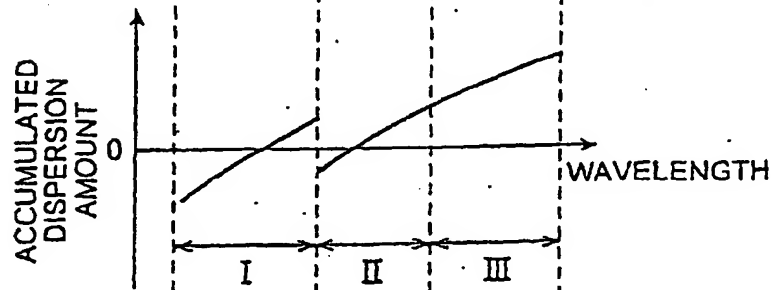
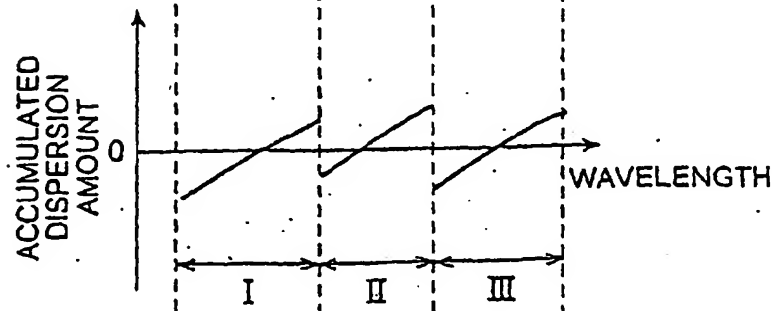
Fig.13A*Fig.13B**Fig.13C**Fig.13D*

Fig.14A

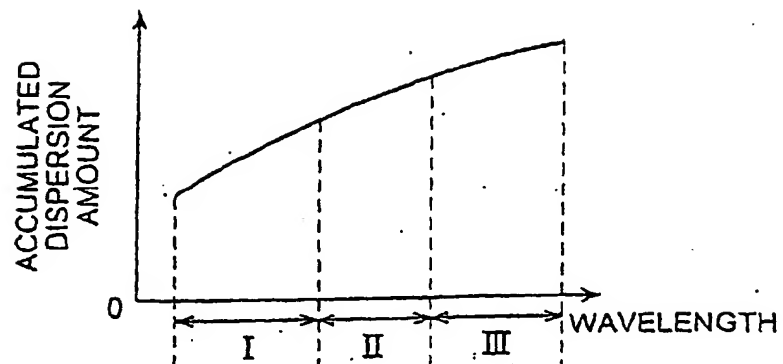


Fig.14B

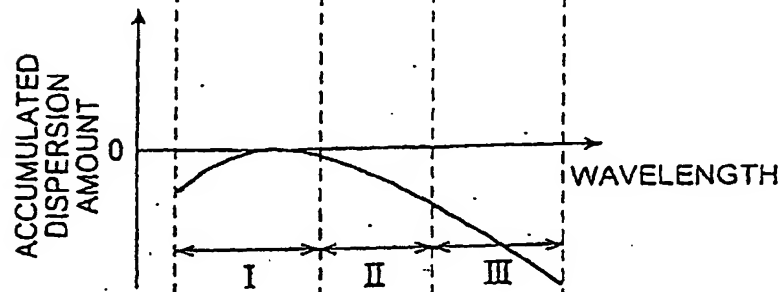


Fig.14C

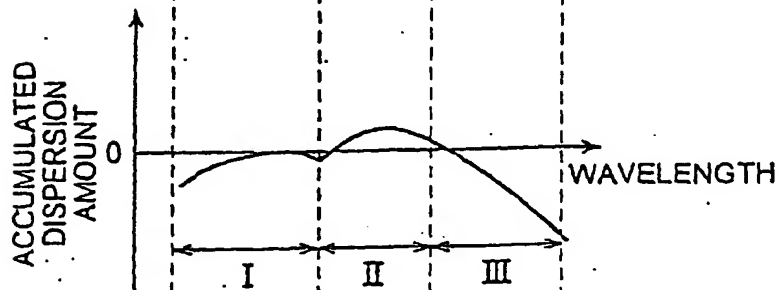


Fig.14D

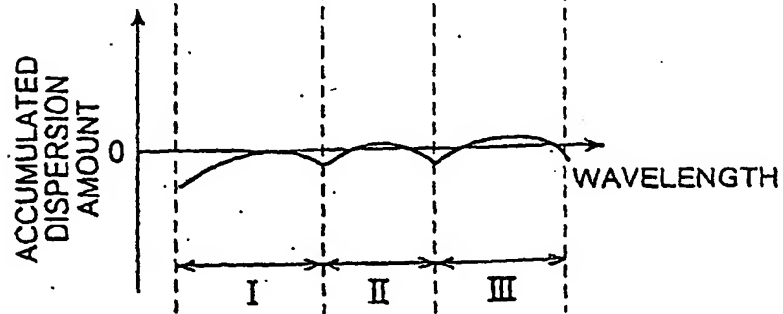


Fig.15

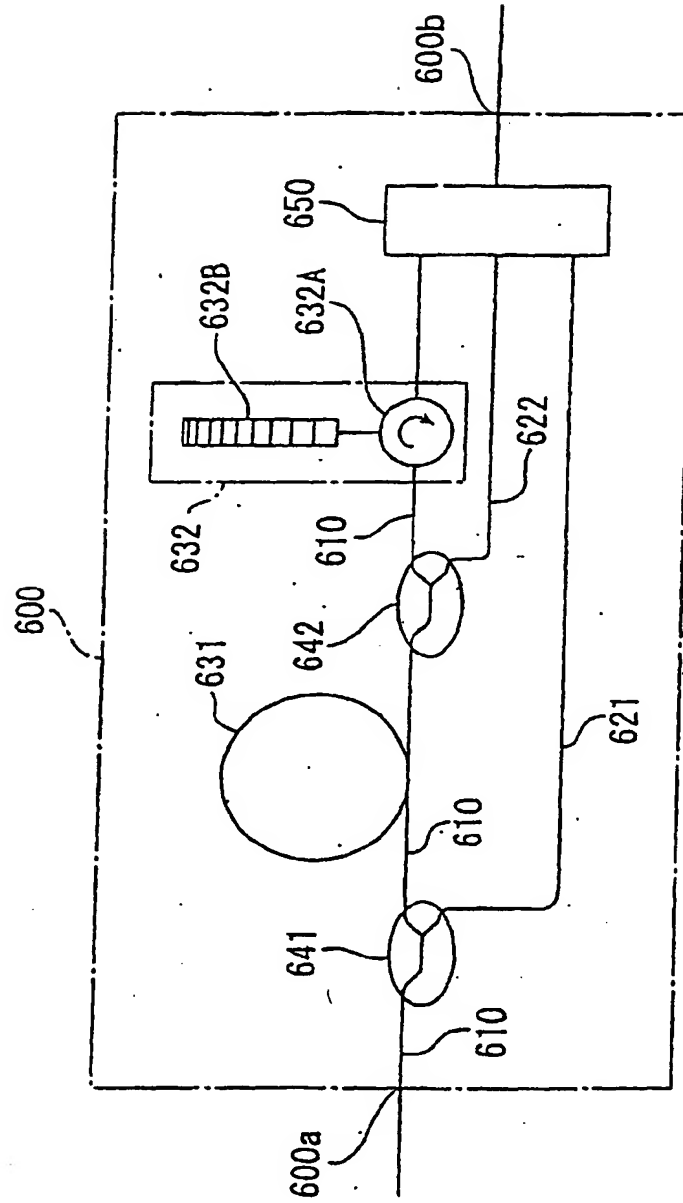


Fig. 16

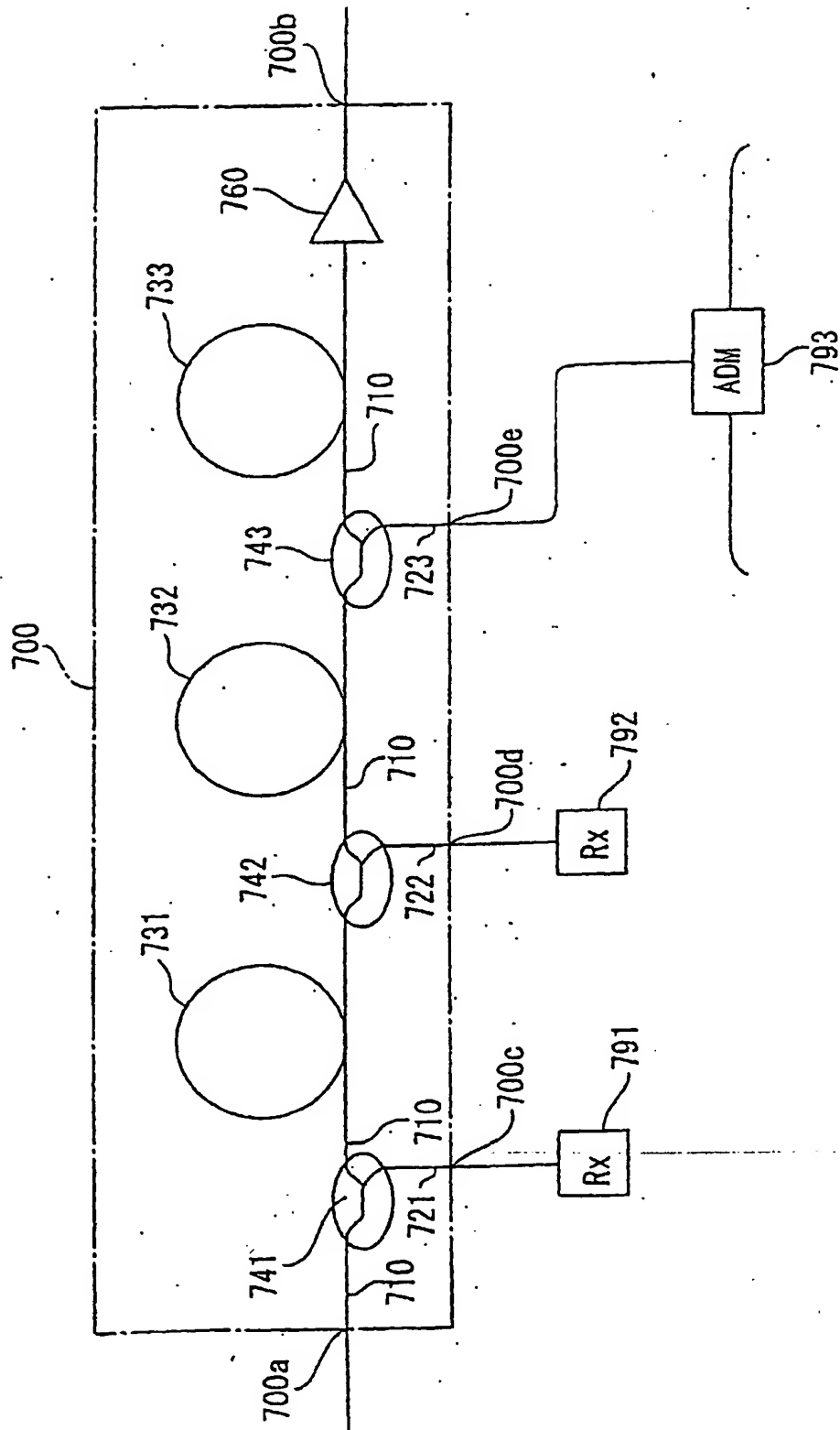


Fig.17

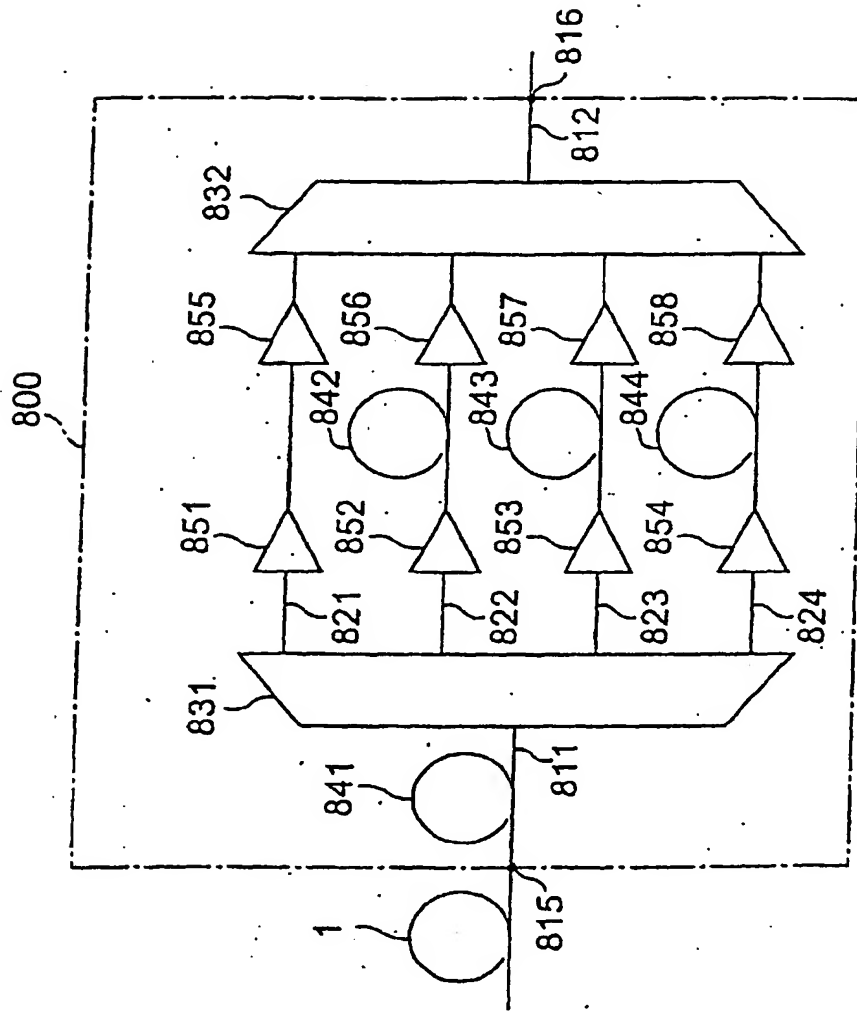


Fig.18A

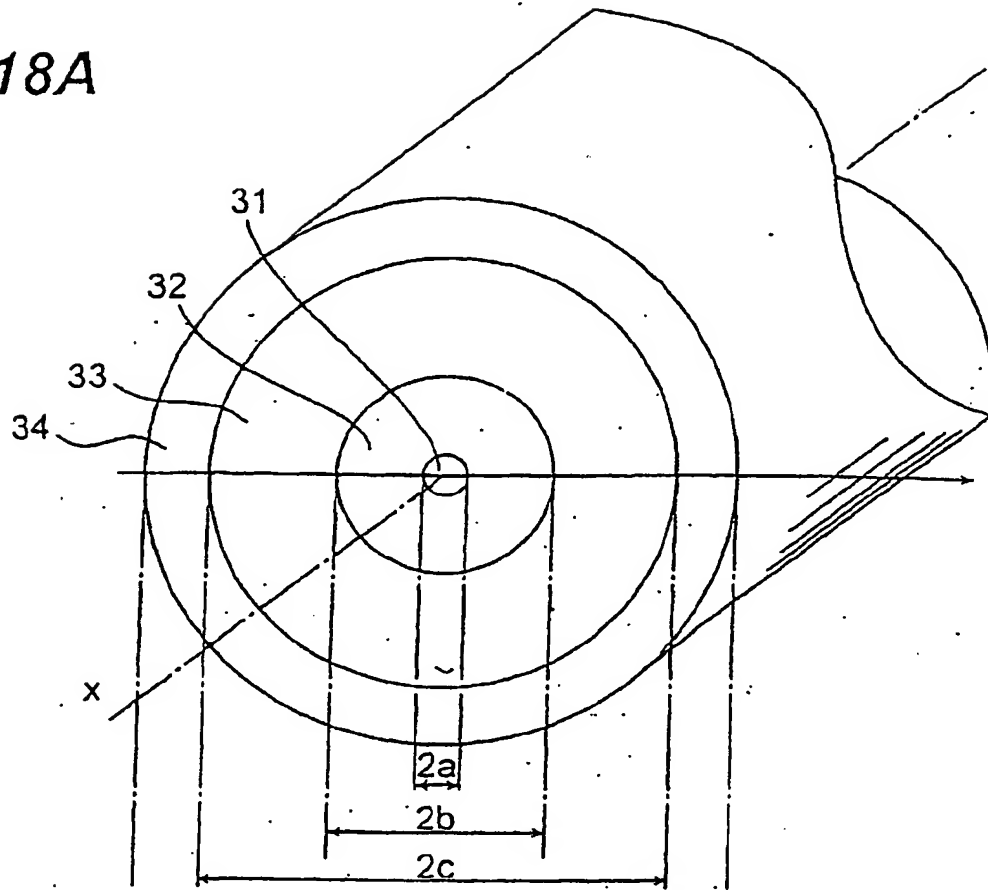


Fig.18B

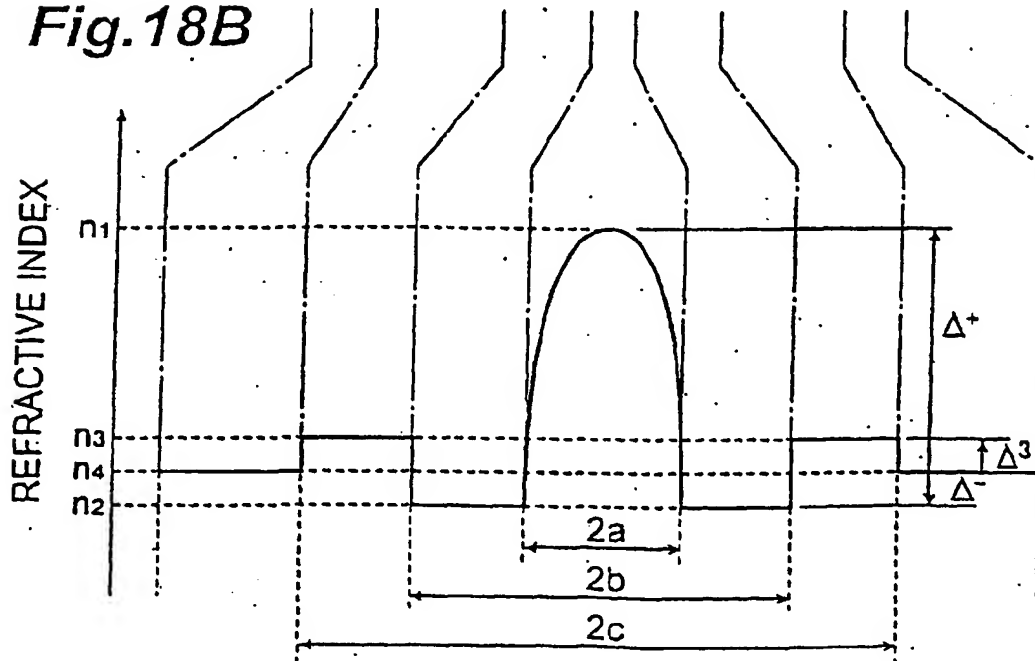
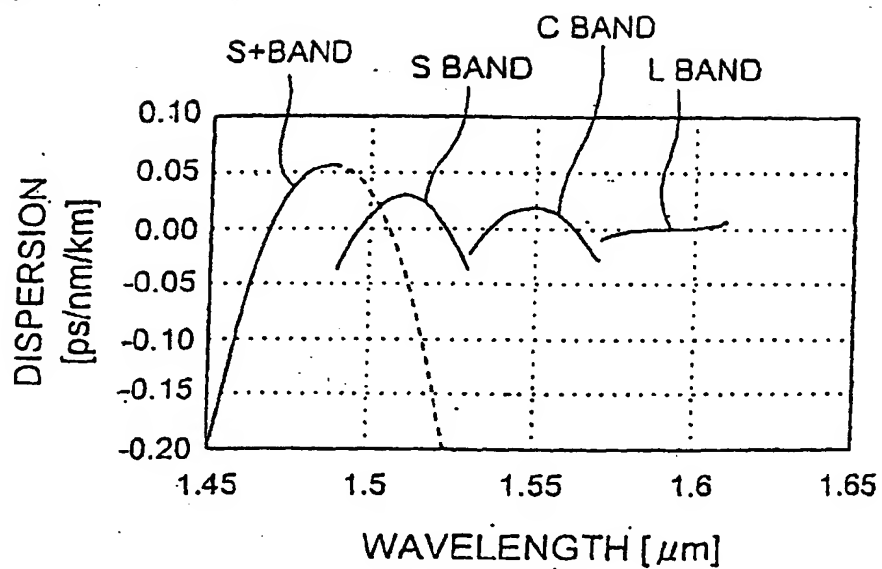


Fig. 19.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/04847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ H04B10/18 H04J14/02 G02B 6/00 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ H04B10/00-10/28 H04J14/00-14/08 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 10-276172, A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 13 October, 1998 (13.10.98), page 4, Column 5, line 33 to Column 6, line 5 & FR, 2761839, A	1-8, 12-17 9-11, 18-32
Y	JP, 7-107069, A (Fujitsu Limited), 21 April, 1995 (21.04.95), page 19, Column 36, line 24 to page 20, Column 38, line 8 & US, 5602666, A	1-8, 12-19 9-11, 18-32
Y	JP, 10-242943, A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd. (KDD)), 11 September, 1998 (11.09.98), page 4, Column 5, line 50 to Column 6, line 21 (Family: none)	1-8, 12-19 9-11, 18-32
Y	JP, 8-234255, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 13 September, 1996 (13.09.96), page 4, Column 5, lines 1 to 30 (Family: none)	1-8, 12-19 9-11, 18-32
Y	JP, 10-170752, A (NEC Corporation), 26 June, 1998 (26.06.98),	1-8, 12-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 October, 2000 (17.10.00)		Date of mailing of the international search report 31 October, 2000 (31.10.00)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/04847

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	page 4, Column 5, line 17 to Column 6, line 15. (Family: none)	9-11,18-32
Y	JP, 9-23187, A (Fujitsu Limited), 21 January, 1997 (21.01.97), page 5, Column 8, line 43 to page 7, Column 11, line 25 (Family: none)	1-8
Y	JP, 11-121840, A (Samsung Electron Co., Ltd.), 30 April, 1999 (30.04.99), page 3, Column 4, line 18 to page 4, Column 5, line 15 & CN, 1213201, A	7-8,12-13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

THIS PAGE BLANK (USPTO)